مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره ششم، شماره ۱۴، زمستان ۱۳۹۶
تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۶/۱۲
صفحات: ۳۴-۱۷

چشم انداز اقلیم حوضه جنوبی دریای خزر تحت شرایط گرمایش جهانی، مطالعه موردی: مدل گردش کلی HadCM3

ایمان بابائیان[1*]، الهام فهیمی نژاد[2]، محمد باعقیده[3]، مریم کریمیان[4]، راهله مدیریان[5]، فاطمه بیاتانی[6]

چکیده

در سال های اخیرحوضه جنوبی دریای خزردرگیر برخی مخاطرات اقلیمی مانند خشکسالی، سیل و بارش برف سنگین بوده است. شبیه سازی رفتار اقلیم آینده این حوضه نقش مهمی در شناخت وضعیت اقلیم و میزان آسیب پذیری احتمالی این مناطق از تغییر اقلیم دارد. در این مطالعه چشم انداز اقلیم آینده برخی ایستگاه های واقع در این حوضه شامل گرگان، بابلسر، رامسر، رشت، بندرانزلی تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 حاصل از برونداد ریزمقیاس شده مدل گردش کلی HadCM3 با روش آماری SDSMدر دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱ شبیه سازی گردید. علاوه بر آن برونداد بارش مدل گردش کلی یاد شده به روش دینامیکی توسط مدل PRECIS برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ ریزمقیاس گردید. در هر دو روش ریزمقیاس نمایی، مدل گردش کلی و سناریوهای انتشار یکسان در نظر گرفته شدند. بر اساس نتایج هر دو روش مذکور، میانگین بارش سالانه ایستگاه های منتخب در دهه های آینده کاهش نسبتا چشمگیری خواهند داشت. نتایج ریزمقیاس شده توسط مدل SDSM نشان می دهد که کمترین و بیشترین کاهش بارش سالانه به ترتیب در ایستگاههای گرگان و بابلسر رخ خواهد داد. کاهش یادشده بین ۲۵ درصد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ تحت سناریوی A2 تا ۶۰ درصد در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریوی B2 خواهد بود. تعداد رخداد بارش های روزانه با شدت های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلیمتر در روز،بارش های با آستانه های صدک ۹۵ و ۹۹ در سه دهه ۳۹-۲۰۱۰، ۶۹-۲۰۴۰ و ۹۹-۲۰۷۰ و همچنین تعداد روزهای داغ دوره های آتی در فصول پاییز، زمستان و بهار در تمامی ایستگاه ها (به استثنای فصل بهار گرگان) و تحت هر دو سناریوی A2 و B2نسبت به دوره مشاهداتی ۹۰-۱۹۶۱ افزایش خواهند یافت. نتایج نشان می دهد که دامنه تغییرات افزایش میانگین دمای حداکثر حوضه در سه دهه ۲۰۳۹-۲۰۱۰ ، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به ترتیب ۱/۸-۱، ۳/۳-۱/۹ و ۵/۱-۲/۴ درجه سلسیوس خواهد بود.

واژگان کلیدی: مدل گردش کلی، سناریوهای انتشار، ریزمقیاس نمایی، حوضه جنوبی خزر، SDSM، PRECIS

۱- استادیار اقلیم شناسی، پژوهشکده اقلیم شناسی، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور(نویسنده مسئول) ibabaeian@yahoo.com
۲- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی. دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار elhamfahiminezhad@gmail.com
۳- استادیار اقلیم شناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی. دانشگاه حکیم سبزواری mbaaghideh2005@yahoo.com
۴- کارشناس ارشد فیزیک، پژوهشکده اقلیم شناسی، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور mkarimiyan59@yahoo.com
۵- کارشناس ارشد فیزیک، پژوهشکده اقلیم شناسی، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور r_modiriyan@yahoo.com
۶- دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری bayatanifateme@yahoo.com

مقدمه

تغییراقلیم عبارت است از تغییرات رفتار آب و هوای یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلند مدت از اطلاعات ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است (عراقی نژاد وکارآموز، ۱۳۸۴). صنعتی شدن جوامع و افزایش گازهای گلخانه ای در دهه های گذشته باعث افزایش دمای کره زمین و تغییر در فراسنج های اقلیمی شده است که در نوشته های علمی به آن تغییر اقلیم اطلاق می شود(IPCC, 1995). استفاده بیش از حد از سوخت های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و افزایش جمعیت و به تبع آن گسترش روز افزون فعالیت های صنعتی برای تامین رفاه و نیاز جمعیت کره زمین، موجب شده است تا پس از انقلاب صنعتی تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین بوجود آید که بارزترین آن افزایش متوسط دمای کره ی زمین، افزایش ارتفاع و دمای سطح اقیانوس ها می باشد. افزایش غلظت گازهای گلخانه ای سبب تسریع چرخه ی آب شناسی و افزایش منابع آبی قابل دسترس در جو شده که آشفتگی های اقلیمی از قبیل افزایش تعداد روزهای با بارش سنگین را به همراه خواهد داشت. افزایش گازهای گلخانه ای در دوره های آتی و در نتیجه تشدید تغییرات فراسنج های اقلیمی، می تواند تاثیرات منفی زیادی را برسیستم های مختلف از جمله منابع آب، محیط زیست، صنعت، بهداشت، کشاورزی و کلیه سیستم هایی که در کنش با سیستم اقلیم می باشند، بگذارد(IPCC, 2013). تبعات منفی این پدیده برای بشر تا آنجا می تواند مخرب باشد که در بین ده عامل تهدید آمیز بشر در قرن بیست و یکم، مانند فقر، سلاح های هسته ای، کمبود غذایی و .... تغییر اقلیم، مقام اول را به خود اختصاص داده است(سلمون و همکاران،۲۰۰۷).

ویژگی و پیش بینی رخدادهای حدی یکی از شش چالش بزرگ شناسایی شده توسط برنامه جهانی تحقیقات اقلیمی (WCRP) میباشد. نتایج بدست آمده توسط منابع مختلف نشان میدهد رخدادهای حدی اقلیمی در طول دهه های اخیر افزایش معنی دار داشته اند (ها و یان، ۲۰۱۲؛ فان و همکاران، ۲۰۱۵؛ سنویرتن و همکاران، ۲۰۱۴؛ سو و همکاران، ۲۰۱۵؛ IPCC, 2013). تغییرات منطقه ای رخدادهای حدی قطعیت بیشتری نسبت به تغییرات در میانگین های فصلی دارند و افزایش وقوع رخدادهای حدی بر زیرساختهای اجتماعی و اقتصادی از قبیل کشاورزی، سلامت، منابع آب، خدمات عمومی تاثیر زیادی می گذارد(استرینگ و همکاران، ۲۰۰۰). افزایش دما نقش مهمی در افزایش شدت خشکی که منجر به وقوع بیشتر رخدادهای حدی خشکسالی می شود دارد، همچنین می تواند باعث بیابان زایی، کاهش منابع آب و کاهش تولیدات کشاورزی ناشی از خرابی و نابودی محصولات کشاورزی شود(چمچتی و باهیر، ۲۰۱۱؛ فرناندز وهمکاران، ۲۰۱۳؛ مکفدن، ۲۰۱۴).

برای بررسی اثرات تغییر اقلیم برسیستم های مختلف در دوره های آتی، در ابتدا بایستی فراسنج های اقلیمی در آینده شبیه سازی شوند. با توسعه ی روش های عددی در علم هواشناسی، افق جدیدی در پیش بینی های چند روزه، فصلی و دهه ای پدید آمده است. قدرت تفکیک افقی مدل های گردش کلی جو سری CMIP5 بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ کیلومتر می باشد. این مدل ها، شرایط توپوگرافی و پوشش سطحی و اقلیمی یکسانی را برای یک شبکه با ابعاد چند صد کیلومتر مربع در نظر می گیرند؛ در حالی که ممکن است شرایط واقعی زمین در محدوده ی مورد مطالعه متفاوت باشد. برای فائق آمدن به نقیصه ی تفکیک فضایی کم مدل های گردش کلی جو، دو راهکار وجود دارد که عبارتند از: ریزمقیاس نمایی آماری با استفاده از مدل های آماری و ریزمقیاس نمایی با به کارگیری مدل های

دینامیکی منطقه ای، استفاده از مدل های دینامیکی برای ریزمقیاس نمایی خروجی مدل های گردش کلی را به گونه ای ریزمقیاس کنند که داده های تولیدی شباهت زیادی با مقادیر داده های ثبت شده در یک ایستگاه داشته باشد. از مهمترین روش های آماری موجود برای مطالعه اثرات تغییراقلیم، می توان به مدل های مولد داده های هواشناسی تولید داده(WG[1]) اشاره کرد این مدل ها ابزاری برای پیش بینی وضع هوا یا اقلیم نیستند، بلکه آنها برای بررسی اثرات و ارزیابی اقلیم دهه های آتی طراحی شده اند. این مدل ها قادر به تولید داده های روزانه از خروجی ماهانه مدل های گردش کلی هستند (بابایان و نجفی نیک ،۱۳۸۵)، هرچند ممکن است دقت روزانه مدل های تولید داده از صحت قابل قبولی برخوردار نباشد، اما مشخصه آماری آنها با آنچه که در واقعیت رخ می دهد، بسیار نزدیک است. روش آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روشهای دینامیکی، خصوصا در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریعتر عوامل موثر آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت ها و قابلیت های بیشتری برخوردار است(بابایان و همکاران ۱۳۸۸) در ارتباط با روش های آماری، (ویلکس و همکاران، ۱۹۹۹) مدل SDSM را برای ریزمقیاس نمایی بارش و دما ابداع کردند. (جانسون و همکاران،۱۹۹۶) از مرکز تحقیقات آب شمال غرب آمریکا دو مدل مختلف تولید داده های هواشناسی به نام هایUSCLIMATE و CLIMGEN را مورد بررسی قرار دادند. (مک گاگ و همکاران،۲۰۰۳)، توانمندی مدل CLIMGEN را برای شبیه سازی پارامترهای هواشناسی مورد مطالعه قرار دادند. تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری و مدل تولید داده یLARS–WG در دوره ی زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ انجام شد (گل محمدی و همکاران،۱۳۹۰)، به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر حوضه قره سو در دوره های آتی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده SPI پرداختند. در مطالعه مذکور، داده های بارش برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ ریزمقیاس نمایی شده و سپس شاخص SPI برای دوره دیدبانی ۲۰۰۰-۱۹۷۱ و دوره آتی ۲۰۶۹-۲۰۴۰ محاسبه شد. مقایسه نتایج حاکی از این است که حوضه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود.

حمیدیان پور و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از مدل LARS-WG داده های چهار مدل اقلیمی (INCM3, HADCM3,NCCCM3,IPCM4) دارای سناریو ی مشترک A1B, A2, B2 را برای سه دوره آینده ریزمقیاس نمودند. یافته های این پژوهش نشان از افزایش بیشتر دما در ایستگاه های واقع در خشکی در مقایسه با ایستگاه های ساحلی می باشد. تغییرات فصلی بارش در ایستگاه های مختلف بسیار نوسانی است. مقدار بارش در فصل سرد در تمام ایستگاه ها روند افزایشی دارد، در حالی که بارش های بهاره در ایستگاه های واقع در خشکی نسبت به نواحی ساحلی افزایش بیشتری خواهد داشت.

رحیم زاده و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی روند نمایه های حدی اقلیمی دما در ایران در دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱ نتیجه گرفتند که نمایه های حدی همچون روزهای یخبندان، روزهای سرد، شب های سرد و دامنه های تغییرات شبانه روزی دما دارای روند کاهشی و نمایه هایی چون روزهای تابستانی، روزهای گرم و شب های گرم دارای روند افزایشی

[1]- Weather Generator

بودند. بابائیان و نجفی نیک (۱۳۸۵) تغییرات اقلیمی استان خراسان رضوی را در افق ۱۴۰۰ با استفاده از داده های مدل گردش کلی جو ECHO-G در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که در مجموع، بارش سالانه در دوره مورد نظر از دوره پایه (۱۹۸۸-۲۰۰۴) ده درصد کاهش و به رغم این کاهش آستانه ی بارش های سنگین و خیلی سنگین افزایش خواهد یافت و دما نیز به به میزان ۱/۸ درجه سانتیگراد افزایش خواهد داشت.

ژائو و همکاران (۲۰۱۲)، به تحلیل نمایه های فرین دمای حوضه رودخانه های چین طی دوره ۲۰۰۹-۱۹۶۰ پرداختند. نتایج بررسی آنها نشان داد که در سراسر حوضه نمایه های فرین سرد روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب های سرد، روزهای سرد، دوام امواج سرما و دامنه دمایی شبانه روزی روند منفی معناداری را نشان می دهد در حالی که نمایه های گرم فرین از جمله روزهای تابستانی، طول دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، شب های گرم، روزهای گرم و امواج گرما روند مثبت و معناداری را نشان می دهد.

رجبی و شعبانلو (۲۰۱۲) از مدل SDSM برای ارزیابی تغییراقلیم منطقه کرمانشاه در غرب ایران و اثر آن بر شاخص های اقلیمی همچون جانسن، کرنر و دومارتن استفاده کردند. در این پژوهش با استفاده از الگوی گردش کلی HadCM3 و با در نظر گرفتن سناریوهای A2 و B2 در دوره های زمانی ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تغییرات شاخص های اقلیمی منطقه ارزیابی شد. نتایج نشان داد که اقلیم منطقه به خصوص در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ خشک تر خواهد شد و این تغییر برای سناریوی A2 محسوس تر خواهد بود.

چیما و همکاران(۲۰۱۳) عملکرد روش ریزمقیاس نمایی SDSM را روی روند داده های کمینه دمای ایستگاههای کشور پاکستان در دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ ارزیابی کردند. براساس نتایج این پژوهش، طبق آزمون من کندال روند افزایشی کمینه دمای سالانه معنادار است. علاوه بر آن، تحلیل نشان داد که تطابق خوبی بین دمای الگو شده و داده های واقعی وجود دارد. یافته های آنها نشان داد تغییر معنادار اقلیمی بیشتر در نواحی شمالی پاکستان رخ داده است.

در تحقیق بدرال و همکاران(۲۰۱۶) ۲۴ شاخص حدی آب و هوایی شامل دمای حداکثر و حداقل روزانه و بارش روزانه در شمال تایلند با استفاده از داده های ریزمقیاس شده مدل HadCM3 توسط PRECIS برای دوره آتی (۲۱۰۰-۱۹۶۰) مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس تحقیق یادشده، شاخص ها حاکی از افزایش قابل توجه در تعداد روزهای تابستانی و شب های گرمسیری در آینده داشتند. کاهش قابل ملاحظه ای در تعداد روزها و شب های سرد نیز در منطقه مورد مطالعه انتظار می رود. کاهش ناچیز در میزان بارش سالانه، تعداد روز با بارش بیش از ۱۰ و ۲۰ میلی متر مشاهده شد.

با قطعیت بالایی می توان گفت که از سال ۱۹۷۱ تا ۲۰۱۰ میانگین دمای لایه سطح تا ۷۰۰ متری عمق اقیانوس گرمتر شده است و سرعت افزایش ارتفاع سطح اقیانوس ها از اواسط قرن نوزدهم بیشتر از میانگین سرعت آن در ۲ میلیون سال گذشته بوده است. همچنین میانگین ارتفاع سطح متوسط اقیانوس ها از سال ۱۹۰۱ تا ۲۰۱۰ حدود ۱۹ سانتیمتر افزایش یافته است. از ابتدای دهه ۱۹۷۰کاهش جرم یخ های قطبی و افزایش انبساط حرارتی اقیانوس های

به دلیل گرمایش جهانی عامل۷۵٪ افزایش ارتفاع سطح اقیانوس ها می باشد. بر اساس گزارشAR5[1]، میانگین بارش کره زمین در انتهای قرن حاضر در فصل اکتبر-مارس بین ۲ تا ۱۰ درصد افزایش می یابد؛ این در حالیست که میانگین بارش در محدوده ایران و خاورمیانه کاهش خواهد یافت، اما بارش در کشورهای واقع در شمال و بخشی از کشورهای واقع در جنوب ایران افزایش می یابد(IPCC, 2013).

با توجه به اینکه حوضه آبریز دریای خزر منطقه ای با مکانیسم بارشی نسبتا منحصر به فرد در کشورمان بوده و ناحیه ای مستعد برای وقوع رخدادهای حدی از قبیل بارش های سنگین و سیل آسا می باشد، لذا در این تحقیق برونداد بارش و دمای مدل گردش کلی HadCM3 برای پاسخ به این سوال که چشم انداز اقلیم آتی حوضه جنوبی دریای خزر تحت شرایط گرمایش جهانی چگونه خواهد بود، به دو روش آماری ریزمقیاس شد، سپس نتایج آن با برونداد مدل منطقه ای دینامیکی PRECIS مقایسه شد. در این مطالعه تغییرات در میانگین و مقادیر حدی عناصر بارش و دمای این منطقه در دهه های آتی مورد مطالعه قرار می گیرند. نتایج این تحقیق می تواند برای سازگاری با تغییر اقلیم و مدیریت مخاطرات جوی و اقلیمی در دستگاههای ذیربط مانند سازمان مدیریت بحران، سازمان جهاد کشاورزی، شرکت آب منطقه ای، سازمان هواشناسی کشور و برنامه های توسعه بلند مدت مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از دو روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی و آماری می تواند موجب افزایش اعتماد به شبیه سازی چشم انداز اقلیم آتی این منطقه گردد.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق ایستگاه های با طول دوره آماری ۳۰ ساله واقع در سواحل جنوبی دریای خزر شامل گرگان، بابلسر، رامسر، رشت و بندرانزلی می باشند. چهار نوع داده در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفتند که عبارتند از: داده های شرایط مرزی شش ساعته در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ (جهت ورودی مدل منطقه ای PRECIS)، فراسنج های بزرگ مقیاس در دو دوره گذشته (۱۹۹۰-۱۹۶۱) و آینده (۲۱۰۰-۲۰۱۱) حاصل از مدل گردش کلی جوHadCM3، فراسنج های بزرگ مقیاس بازتحلیل از مرکز پیش بینی های محیطی آمریکا NCEP[2]در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱(جهت مدل آماری SDSM) و داده های دیدبانی بارش و دمای روزانه ایستگاه های هواشناسی منطقه در دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱. در این تحقیق امکان تهیه داده های شرایط مرزی دوره ۲۰۶۹-۲۰۱۱ برای مدل دینامیکی PRECIS –با توجه به انحصاری بودن داده های مذکور برای مرکز هادلی[3]-فراهم نشد. ریزمقیاس نمایی بارش و دما در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۰ عمدتا به روش آماری و با استفاده از مدل SDSM انجام گرفت. از مدل دینامیکی PRECIS صرفا برای ریزمقیاس نمایی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ استفاده شد. علت عدم انجام ریزمقیاس نمایی کل دوره به روش دینامیکی عدم دسترسی به داده های دوره ۲۰۶۹-۲۰۱۱ می باشد(ویلسون و همکاران، ۲۰۰۵). در هر دو روش

[1]- IPCC Assessment Report 5
[2]- National Center for Environmental Prediction
[3]- Hadley Centre (UK metoffice)

ریزمقیاس نمایی از برونداد مدل گردش کلی HadCM3 استفاده گردید. نرم افزارSDSM روابط آماری را بر مبنای روش رگرسیون خطی چندگانه بین متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس(پیش بینی کننده ها) و محلی(پیش بینی شونده ها) محاسبه می کند(ویبلی و همکاران، ۲۰۰۲،۱۴۵). این روابط بر اساس داده های دیدبانی روزانه منطقه و متغیرهای بزرگ مقیاس مشاهداتی منطقه NCEP (کالانی و همکاران، ۱۹۹۶) رابطه ای با حداکثر ضریب همبستگی برقرار نموده و سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده از این رابطه با بکارگیری متغیرهای بزرگ مقیاس حاصل از مدل HadCM3 برای دوره (۱۹۹۰-۱۹۶۱) استخراج شدند. سپس با معرفی این داده ها به مدل SDSM، بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل تحت دو سناریوی A2 و B2 برای منطقه مورد مطالعه ریز مقیاس گردیدند. با کمک پیش بینی کننده های منتخب دوره پایه شبیه سازی شدند و سپس تحت دو سناریوی A2 و B2 برای دوره های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۴۱ پیش بینی گردید و تغییرات هر پارامتر اقلیمی نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به استفاده از دو روش برای ریزمقیاس نمایی آماری، برای پرهیز از افزایش حجم مقاله، جزئیات دو روش ذکر نشده است. برای بررسی کارآیی مدل SDSM، دوره ۳۰ ساله ۹۰-۱۹۶۱ به دو دوره ۱۵ ساله برای کالیبره کردن و تست تقسیم شدند.

توانمندی روش ریزمقیاس نمایی آماری SDSM در شبیه سازی میانگین ها و رخدادهای حدی در دوره دیدبانی مورد بررسی و واسنجی قرار گرفتند که نتایج در جدول ۱ آورده شده اند. خطای شبیه سازی بارش بین ۱۰ تا ۱۵ درصد و دما در حد ۰/۱ درجه سلسیوس می باشد. هر دو خطای مورد اشاره در سطح اعتماد ۰/۰۵ معنی دار هستند. توانایی مدل PRECIS در شبیه سازی متغیرهای مشابه در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. دامنه تغییرات خطای بارش بین ۳,۹ تا ۱۰,۲ درصد می باشد. دامنه تغییرات خطای دمای میانگین بین ۰,۱۵ تا ۰,۲۶ درجه سلسیوس می باشد. در حالیکه اریبی بارش مدل SDSM تر می باشد ولی مدل PRECIS دارای اریبی خشک می باشد؛ این در حالیست که اریبی دمای هر دو مدل از نوع سرد و مقدار بیشینه آن ۰,۲۶- درجه سلسیوس می باشد. لازم به ذکر است شبیه سازی های انجام شده توسط مدل PRECIS محدود به میانگین های بارش و دما می باشد.

جدول۱: کارآیی مدل SDSM در شبیه سازی میانگین بارش و دمای سالانه در دوره دیدبانی

فراسنج	دوره ۹۰-۱۹۶۱	گرگان	بابلسر	رامسر	رشت	بندر انزلی
میانگین بارش	دیدبانی	۶۱۶	۸۸۳	۱۲۲۶/۴	۱۳۵۰/۴	۱۸۱۶/۴
	شبیه سازی	۵۷۷/۴	۷۵۳/۵	۱۰۷۰/۷	۱۱۶۹	۱۶۲۷
	خطا(٪)	۶/۲	۱۴/۷	۱۲/۷	۱۳/۴	۱۰/۴
	RMSE	۱۲۵/۷	۱۵۰/۹	۱۹۳/۹	۱۷۹/۸	۱۵۲/۸
میانگین دمای حداکثر	دیدبانی	۲۲/۸۴	۲۰/۸۵	۱۹/۳۶	۲۰/۶۵	۱۹/۴۱
	شبیه سازی	۲۲/۸۳	۲۰/۸۴	۱۹/۳۴	۲۰/۵۹	۱۹/۴۰
	خطا(^oC)	-۰/۰۱	-۰,۰۱	-۰/۰۲	-۰/۰۶	-۰/۰۱
	RMSE	۰/۴۴	۰/۳۶	۰/۳۷	۰/۴۷	۰/۵۸
میانگین دمای حداقل	دیدبانی	۱۲/۷۲	۱۲/۹۱	۱۲/۳۵	۱۱/۲۲	۱۳/۰۲
	شبیه سازی	۱۲/۷۱	۱۲/۹۱	۱۲/۳۴	۱۱/۱۶	۱۳/۰۲
	خطا(^oC)	-۰۰/۱	-۰/۰۴	-۰/۱	-۰/۰۶	-۰/۰۴
	RMSE	۰/۷۵	۰/۳۰	۰/۳۸	۰/۴۹	۰/۳۱

جدول۲: کارآیی مدل PRECIS در شبیه سازی میانگین بارش و دمای سالانه در دوره دیدبانی

فراسنج	دوره ۹۰-۱۹۶۱	گرگان	بابلسر	رامسر	رشت	بندر انزلی
میانگین بارش	دیدبانی	۶۱۶	۸۸۳	۱۲۲۶/۴	۱۳۵۰/۴	۱۸۱۶/۴
	شبیه سازی	۵۹۱/۹	۶۹۴/۷	۹۶۷/۹	۱۰۶۴/۹	۱۶۳۱/۱
	خطا(٪)	-۳/۹	-۷/۸	-۹/۶	-۸/۹	-۱۰/۲
	RMSE	۹۶/۸	۱۳۲/۱	۱۲۵/۳	۲۲۵/۵	۱۷۸/۶
میانگین دما	دیدبانی	۱۷/۷۸	۱۶/۸۸	۱۵/۸۶	۱۵/۹۴	۱۶/۲۲
	شبیه سازی	۱۷/۶	۱۶/۶۹	۱۵/۶۶	۱۵/۷۲	۱۶/۰۶
	خطا(^oC)	-۰/۱۸	-۰,۱۹	-۰/۲۰	-۰/۲۲	-۰/۱۶
	RMSE	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۴۱	۰/۵۳	۰/۴۴

نرم افزار PRECIS نیز با دریافت داده های شرایط مرزی شش ساعته از مدل جهانی HadCM3 و با بکارگیری معادلات حاکم بر جو تکانه، قانون عمومی گازها و ترمودینامیک داده های با تفکیک حدود ۲/۵×۲/۵ درجه HadCM3 را تا حد ۰/۴۴×۰/۴۴ریزمقیاس می کنند. بابائیان و همکاران(۲۰۱۵) نشان دادند که مدل PRECIS علیرغم ضعف نسبی آن در شبیه سازی بارش در مقیاس ماهانه، توانایی شبیه سازی میانگین بارش سالانه کشور را با خطای ۵/۳ درصد دارا می باشد. خطای این مدل در شبیه سازی بارش حوضه جنوبی دریای خزر بین ۳/۹- درصد (در نواحی شرقی) تا ۱۰/۲- درصد (در نواحی مرکزی و غربی) می باشد.

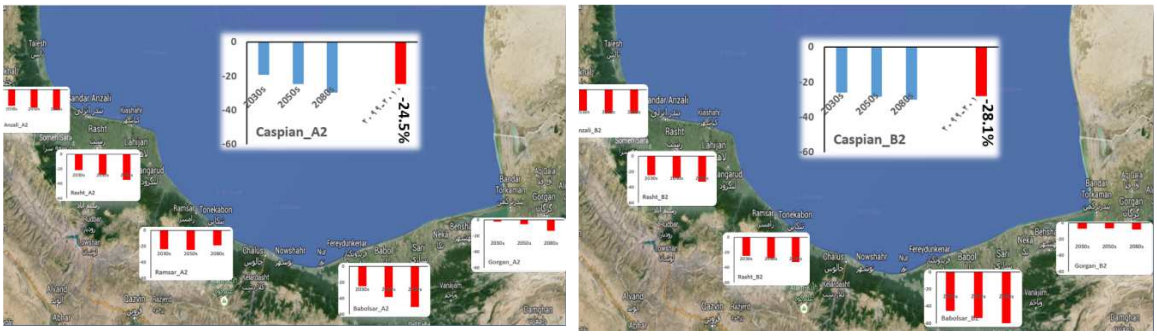
نتایج و بحث

میانگین بارش: در جدول ۳، میانگین سالانه بارش در دوره ۹۰-۱۹۶۱ و چشم انداز تغییرات آن در ایستگاه های منتخب در سه دوره آتی ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2 آورده شده است. نتایج ریزمقیاس شده توسط مدل PRECIS در ستون آخر جدول آورده شده است. همانطور که دیده می شود در تمامی ایستگاهها و تحت هر دو سناریوی انتشار میانگین بارش سالانه دوره های آتی نسبت به دوره دیدبانی کاهش یافته است. علیرغم اینکه در ایستگاه بابلسر در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به روش PRECIS ، بارش بین ۳/۱ تا ۶/۴ درصد افزایش یافته است، اما در مجموع و با لحاظ نتایج سایر سناریوهای انتشار و مدل SDSM، کمترین کاهش برای ایستگاه گرگان شبیه سازی شده است. ممکن است یکی از دلایل پایین بودن میزان کاهش بارش در ایستگاه گرگان تاثیر پذیری کم آن از مکانیسم بارش های خزری باشد. برخی مطالعات (رسولی و همکاران، ۱۳۹۱) نشان می دهند که الگوهای همدیدی بارش زای خزری در دهه های آینده تضعیف خواهند شد که از آن جمله می توان به تضعیف پرفشارهای سیبری و پرفشارهای مهاجر که نقش مهمی در بارش های این منطقه دارند، اشاره کرد. بیشترین کاهش بارش در روش آماری تحت سناریوی B2 و در روش دینامیکی تحت سناریوی A2 خواهد بود.

جدول ۳: درصد تغییرات سالانه بارش در ایستگاه های منتخب حوضه جنوبی دریای خزر در سه دوره آتی تحت سناریوهای انتشار A2 و B2 بروندادریزمقیاس شده مدل گردش عمومی HadCM3 به دو روش آماری و دینامیکی.

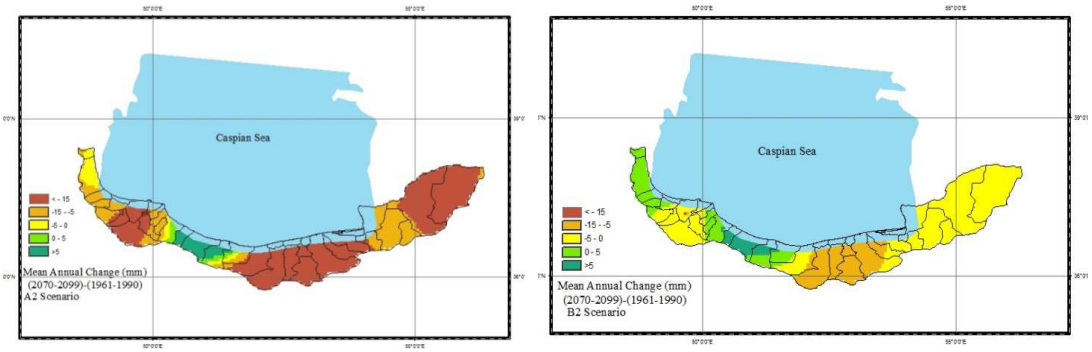
ایستگاه	دیدبانی (م م)	SDSM						PRECIS	
		۲۰۳۹-۲۰۱۱		۲۰۶۹-۲۰۴۰		۲۰۹۹-۲۰۷۰		۲۰۹۹-۲۰۷۰	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
گرگان	۶۱۶	-۱۸/۹	-۱۵/۵	-۸/۸	-۱۴/۹	-۱۷/۳	-۱۹/۵	-۱۴/۵	-۴/۱
بابلسر	۸۸۳	-۲۴/۷	-۴۵/۵	-۳۸/۱	-۵۳/۷	-۵۰/۶	-۵۹/۶	-۱۹/۴	-۸/۹
رامسر	۱۲۲۶	-۲۳/۶	-۲۵/۹	-۲۴/۶	-۲۳/۲	-۱۸/۷	-۱۹/۲	+۶/۴	+۳/۱
رشت	۱۳۵۰	-۲۱/۶	-۲۴/۶	-۲۷/۶	-۲۷/۶	-۳۴/۷	-۳۲/۷	-۱۶/۷	-۶/۲
بندر انزلی	۱۸۱۶	-۲۴/۱	-۲۶/۸	-۲۶/۵	-۳۰/۸	-۳۰/۷	-۳۱/۱	-۱۳/۲	-۳/۸

بیشترین کاهش بارش سالانه در ایستگاه بابلسر رخ خواهد داد که بین ۲۴/۷ درصد در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ تحت سناریوی A2 تا ۵۹/۶ درصد در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریوی B2 خواهد بود.



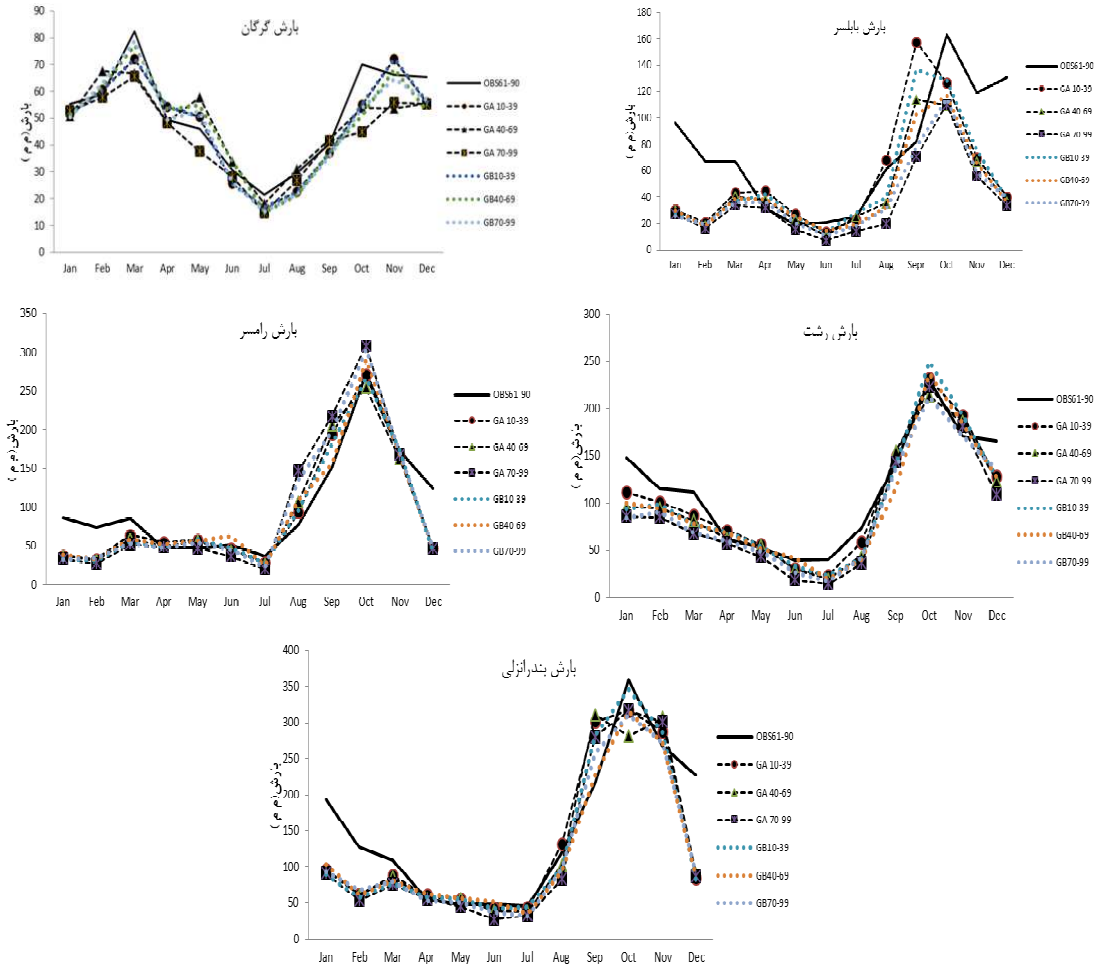
شکل ۱: درصد تغییرات بارش در حوضه جنوبی دریای خزر در سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت دو سناریوی انتشار A2(چپ)و B2 (راست) با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی آماری SDSM

تغییرات در میانگین بارش سالانه در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی (مدل PRECIS) نیز انجام شد که نتایج در شکل ۲ آورده شده است. تفکیک پذیری مکانی ریزمقیاس نمایی ۰/۴۴×۰/۴۴ درجه معادل ۵۰×۵۰ کیلومتر مربع می باشد. مطابق شکل ۲، در هر دو سناریو بارش در تمامی بخش های حوضه جنوبی خزر با استثنای منطقه رامسر کاهش می یابد. علاوه بر منطقه رامسر، در نواحی شمال غرب حوضه نیز فقط تحت سناریوی B2 میانگین سالانه بارش تا ۵ میلیمتر افزایش خواهد داشت.



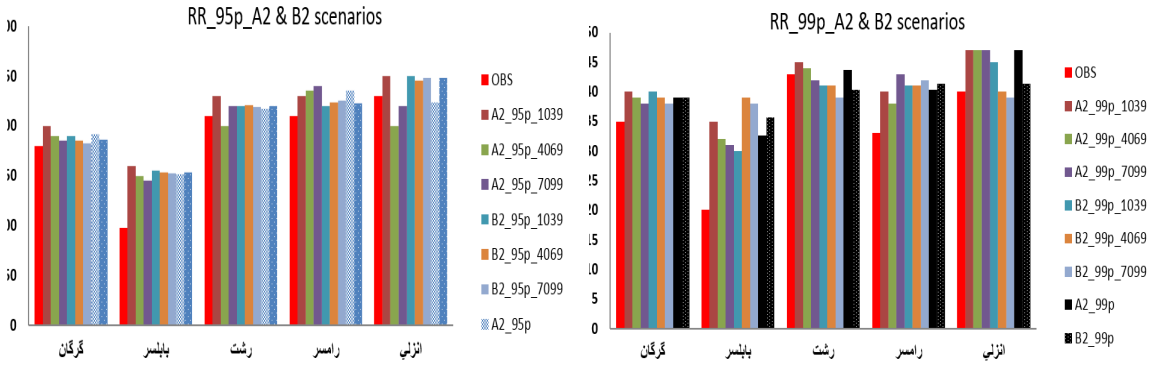
شکل ۲: چشم انداز تغییرات بارش در حوضه جنوبی دریای خزر در سه دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت دو سناریوی انتشار A2(چپ)و B2 (راست) با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی PRECIS.

به طور کلی در تمامی شهرهای مورد بررسی بارش ماههای نوامبر، دسامبر و ژانویه (انتهای پاییز تا نیمه زمستان) و همچنین دو ماه تابستان جولای و اوت کاهش یافته است. در گرگان، در هر دو سناریوی A2 و B2 میانگین بارش ماهانه دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۰) از ماه می تا اکتبر نسبت به دوره دیدبانی افزایش یافته و در بقیه ماهها کاهش می یابد. بیشترین افزایش بارش در ماه اکتبر رخ خواهد داد. در ماه سپتامبر بارش در بابلسر افزایش یافته، در ماههای جولای و اوت و دوره اکتبر تا مارس کاهش می یابند ولی در سایر ماهها تغییرات قابل ملاحظه نیست. در رامسر، بارش تمام ماهها بجز آگوست، سپتامبر و اکتبر کاهش خواهد یافت. در رشت، بارش ماههای اکتبر و نوامبر افزایش می یابد ولی بارش سایر ماهها کاهشی می باشد. در بندر انزلی در ماههای سپتامبر و نوامبر بارش افزایش می یابد و در ماههای دسامبر تا مارس بارش کاهش قابل ملاحظه ای دارد(شکل ۳). در مجموع می توان گفت بارش در دوره زمستان تا اوایل بهار (دسامبر تا مارس) کاهش خواهد یافت و در سپتامبر افزایش می یابد.



شکل ۳: تغییرات در میانگین بارش ماهانه در ایستگاههای حوضه جنوبی دریای خزر نسبت به دوره دیدبانی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در سه دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت دو سناریوی انتشار A2 و B2.

بارش های حدی:در شکل ۴، تغییرات در آستانه بارش های روزانه با صدک ۹۵ (RR95p)و صدک ۹۹(RR99p) که از شاخص های استاندارد سازمان جهانی هواشناسی (کلین تنک و همکاران، ۲۰۰۹) برای آشکارسازی رخدادهای حدی می باشد، آورده شده است.بر اساس شکل یادشده، آستانه بارش های صدک ۹۵ و ۹۹ به طور میانگین به ترتیب ۱۰/۳ درصد و ۱۷/۱ درصد افزایش می یابند که نشان از سیل آسا شدن بارش های دهه های آتی می باشد.



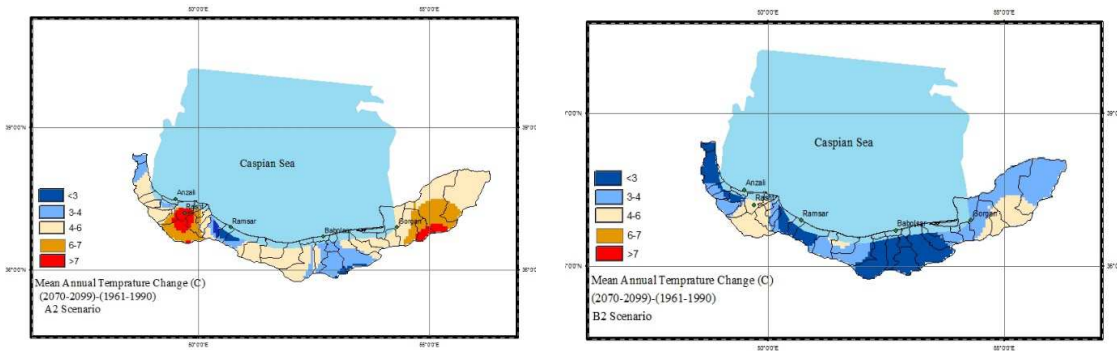
شکل۴: تغییرات در آستانه بارش های سنگین (صدک ۹۵) و خیلی سنگین(صدک ۹۹) در دوره ی دیدبانی(قرمز) و سه دهه آینده

میانگین **دما:** در جدول ۴ میزان افزایش دمای دهه های آتی نسبت به دوره دیدبانی تحت دو سناریوی A2 و B2 برای پنج ایستگاه مورد مطالعه آورده شده است. دو ستون آخر جدول افزایش دمای مدل سازی شده توسط مدل ریزمقیاس نمایی دینامیکی PRECIS را نشان می دهد که به دلیل عدم دسترسی به داده های شرایط مرزی، فقط تغییرات دمای منطقه برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت دو سناریوی A2 و B2 آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود افزایش دما در ایستگاه های نزدیک به ساحل به مراتب کمتر از ایستگاه هایی هستند که از ساحل فاصله دارند. به عنوان مثال در دو ایستگاه بندر انزلی و رشت که به فاصله کمی از هم قرار دارند، افزایش دمای دوره آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۰) در ایستگاه بندر انزلی که چسبیده به ساحل می باشد۳/۳ درجه سلسیوس است ولی در ایستگاه رشت که از ساحل فاصله دارد، ۴/۱ درجه سلسیوس می باشد. یکی از دلایل وجود اختلاف بین افزایش دمای ایستگاه های ساحلی و غیر ساحلی ناشی از لختی در تغییرات دمای دریا و اندرکنش آن با خشکی می باشد؛ به طوری که به علت ظرفیت گرمایی بالای آب، سرعت افزایش دما در پهنه های آبی به مراتب کمتر از خشکی می باشد.

***جدول ۴: میزان افزایش میانگین دمای(درجه سلسیوس) سالانه ایستگاه های مورد مطالعه تحت دو سناریوی انتشار* A2 و B2 *برونداد مدل* HadCM3**

ایستگاه	دیدبانی (°C)	SDSM						PRECIS	
		۲۰۳۹-۲۰۱۱		۲۰۶۹-۲۰۴۰		۲۰۹۹-۲۰۷۰		۲۰۹۹-۲۰۷۰	
		A2	B2	A2	B2	A2	B2	A2	B2
گرگان	۱۷/۸	۲/۷	۱	۲/۹	۱/۹	۳/۹	۲/۶	۴/۸	۳/۲
بابلسر	۱۶/۹	۱/۷	۱/۵	۳/۳,۱۱	۲/۸	۴/۸	۳/۷	۴/۲	۲/۹
رامسر	۱۵/۹	۱/۸	۱/۶	۳/۲	۲/۸	۴/۹	۳/۸	۳/۴	۲/۶
رشت	۱۵/۹	۱/۸	۱/۷	۳/۳	۲/۹	۵/۱	۳/۴	۴/۱	۲/۹
بندر انزلی	۱۶/۲	۱/۸	۱/۷	۳/۱	۲/۹	۴/۷	۳/۸	۳/۳.	۲/۴

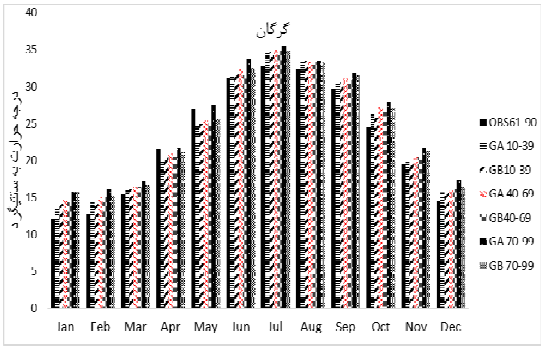
در شکل۵، با اخذ داده های شرایط مرزی شش ساعته برونداد مدل گردش عمومی HadCM3 و ریزمقیاس نمایی آنها با بکارگیری مدل منطقه ای PRECIS، پهنه بندی افزایش دمای میانگین سالانه حوضه دریای خزر در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰نسبت به دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ ترسیم شده است. میانگین افزایش دما در سناریوی B2 بین ۰/۸ تا ۱/۷ درجه سلسیوس کمتر از سناریوی A2 می باشد که می تواند ناشی از فرضیه انتشار کمتر گازهای گلخانه ای در سناریوی B2 باشد. علاوه بر آن افزایش دما در مناطق نزدیک به ساحل به مراتب کمتر از مناطق دور دست و خشکی می باشد که می تواند ناشی از ظرفیت گرمایی بالای آب و انتقال بسیار بطئی افزایش دمای رخ داده در خشکی به دریا باشد.

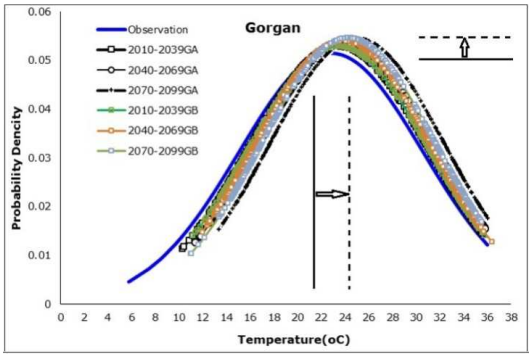


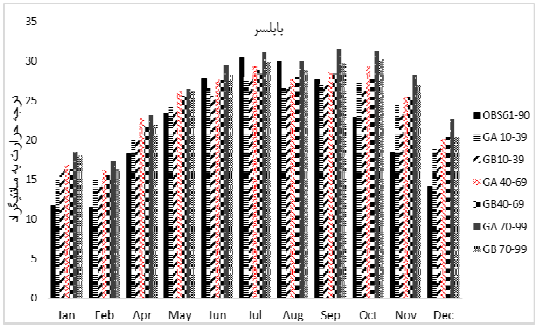
شکل۵: افزایش میانگین دمای سالانه(^{o}C) حوضه جنوبی دریای خزر تحت دو سناریوی A2(چپ) و B2(راست)با استفاده از ریزمقیاس نمایی برونداد مدل گردش عمومی HadCM3 توسط مدل منطقه ای PRECIS

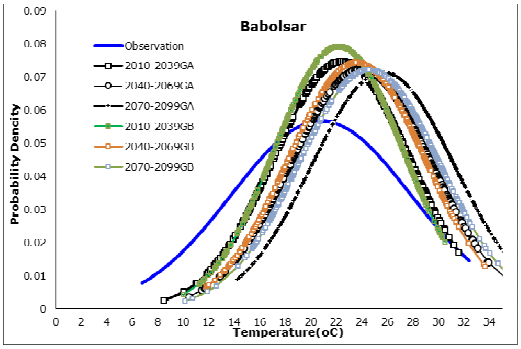
دمای **حداکثرماهانه:** میانگین دمای حداکثر در تمامی ایستگاه ها، تحت هر دو سناریوی A2 و B2 و در هر سه دهه افزیش یافته است که افزایش در دهه سوم ۲۰۹۹-۲۰۷۱ از دو دهه دیگر بیشتر می باشد. به طور کلی میانگین دمای حداکثر در فصول پاییز و زمستان در تمامی ایستگاه ها و تحت هر دو سناریو نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش در حداکثر دما به میزان ۷/۶ درجه سلسیوس در زمستان بندر انزلی و در دهه ۲۰۸۰ رخ خواهد داد. میانگین دمای حداکثر در ایستگاه گرگان فقط در فصل بهار و دوره اول ۲۰۳۹-۲۰۱۱کاهشی بوده ولی در بقیه فصول و دوره ها افزایشی است. میانگین دمای تابستان – به استثنای گرگان- در تمامی ایستگاه ها در دوره اول کاهش یافته است. این کاهش در دو ایستگاه رامسر و رشت تا دوره دوم تداوم دارد.

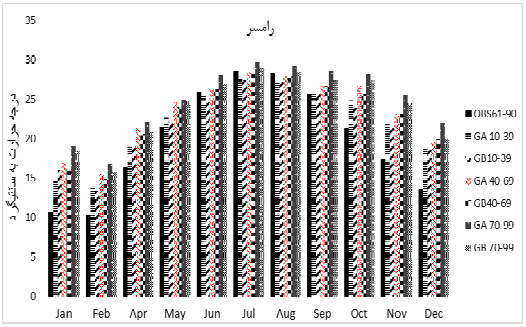
در شکل ۶، مقایسه مقادیر و تایع توزیع حداکثر دمای ماهانه تحت سناریوهای انتشار گوناگون در سه دهه آتی آورده شده است. ملاحظه می شود که ضمن جابجایی الگوی دمای بیشینه به سمت مقادیر بیشتر، ارتفاع منحنی دمای بیشینه نیز نسبت به دمای دوره پایه افزایش یافته است.

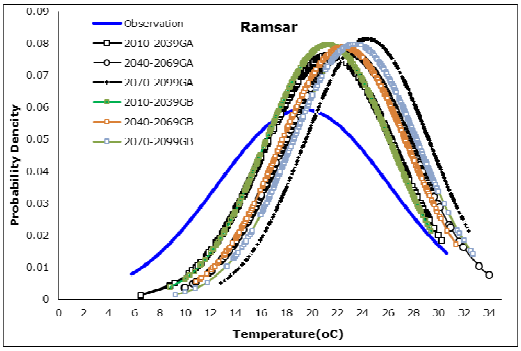

گرگان
درجه حرارت به سانتیگراد
OBS61-90
GA 10-39
GB10-39
GA 40-69
GB40-69
GA 70-99
GB 70-99
Jan Feb Mar Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

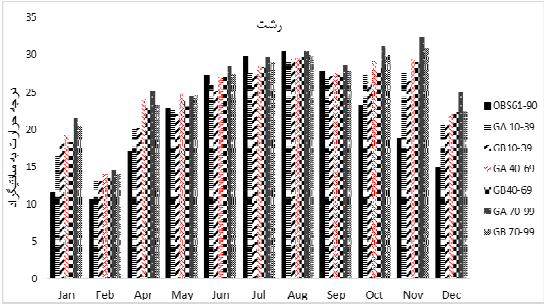

Gorgan
Observation
2010-2039GA
2040-2069GA
2070-2099GA
2010-2039GB
2040-2069GB
2070-2099GB
Probability Dencity
Temperature(oC)

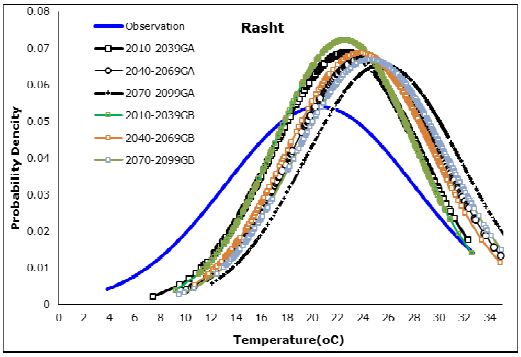

بابلسر
درجه حرارت به سانتیگراد
OBS61-90
GA 10-39
GB10-39
GA 40-69
GB40-69
GA 70-99
GB 70-99
Jan Feb Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

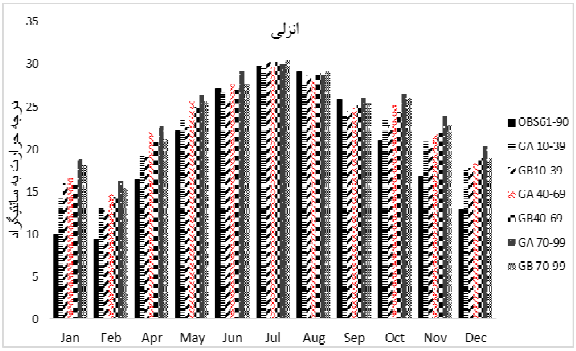

Babolsar
Observation
2010-2039GA
2040-2069GA
2070-2099GA
2010-2039GB
2040-2069GB
2070-2099GB
Probability Dencity
Temperature(oC)

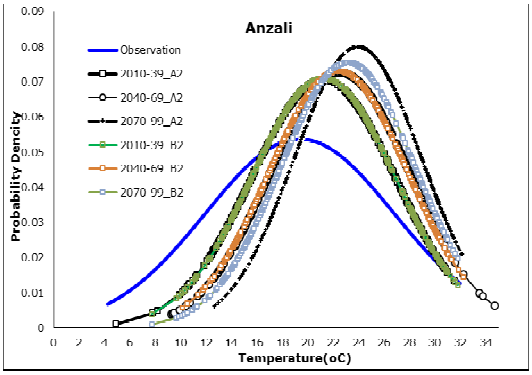

رامسر
درجه حرارت به سانتیگراد
OBS61-90
GA 10-39
GB10-39
GA 40-69
GB40-69
GA 70-99
GB 70-99
Jan Feb Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec


Ramsar
Observation
2010-2039GA
2040-2069GA
2070-2099GA
2010-2039GB
2040-2069GB
2070-2099GB
Probability Dencity
Temperature(oC)


رشت
درجه حرارت به سانتیگراد
OBS61-90
GA 10-39
GB10-39
GA 40-69
GB40-69
GA 70-99
GB 70-99
Jan Feb Apr May Jun Jul Aug Sep Oct Nov Dec

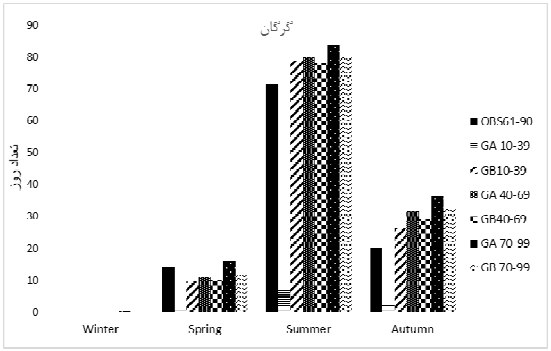

Rasht
Observation
2010-2039GA
2040-2069GA
2070-2099GA
2010-2039GB
2040-2069GB
2070-2099GB
Probability Dencity
Temperature(oC)

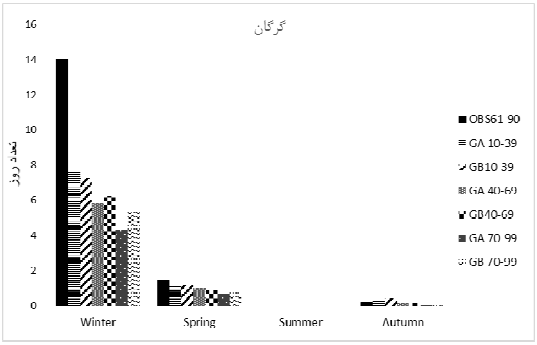


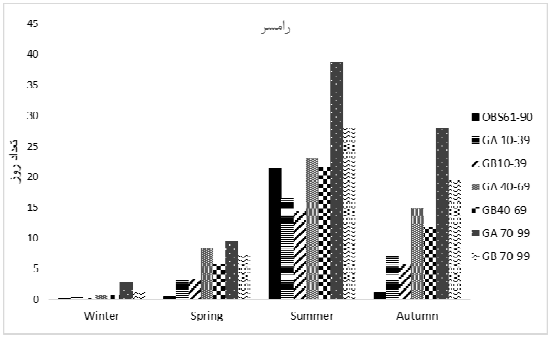


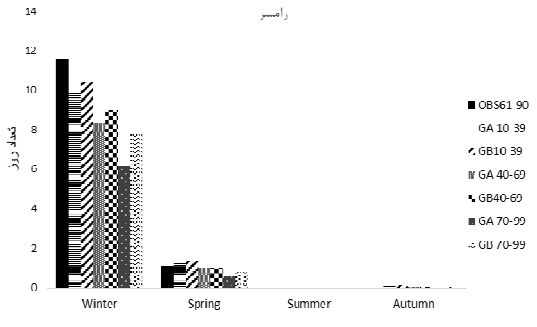
شکل۶:توزیع حداکثر دمای ماهانه در ایستگاه های حاشیه خزر در سه دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱، ۲۰۷۰-۲۰۴۱ و ۲۰۴۰-۲۰۱۱ تحت سناریوهای مختلف.

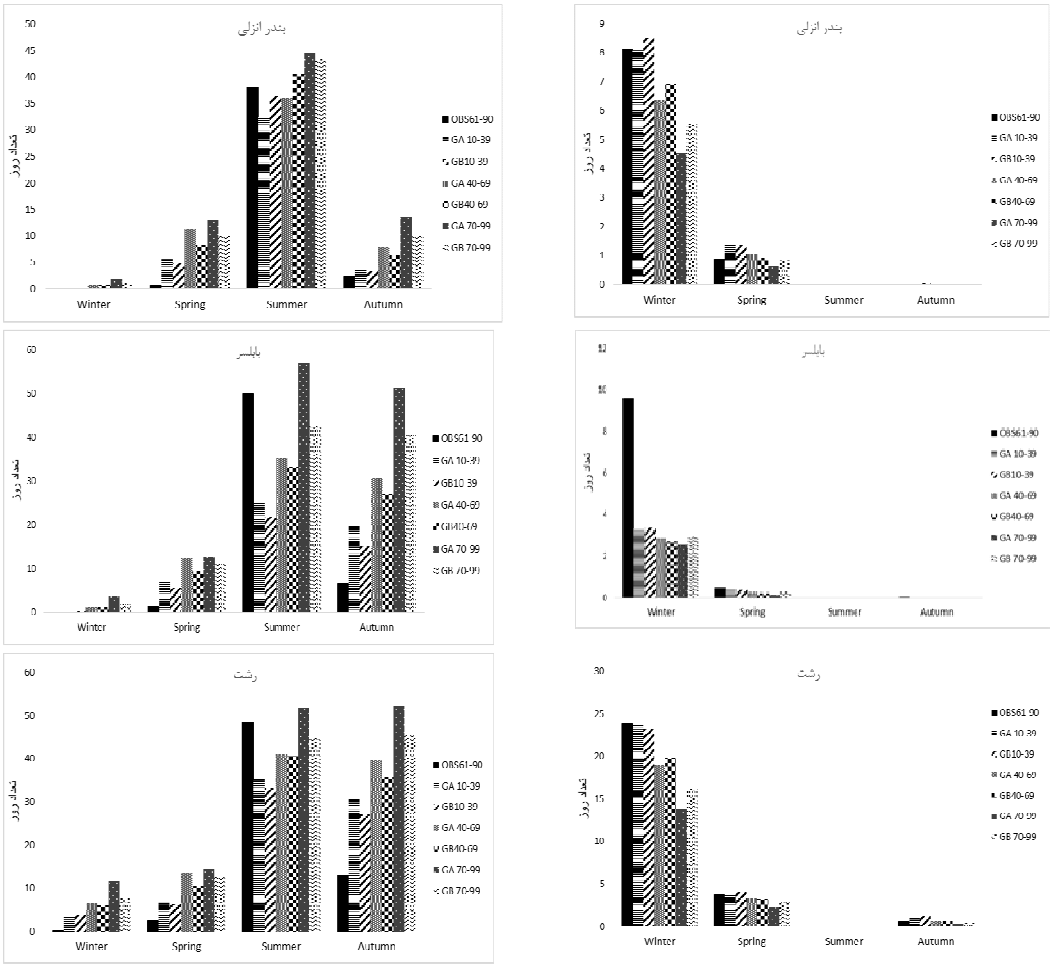
روزهای داغ و یخبندان: بر اساس تعریف، روز داغ به روزی گفته می شود که دمای بیشینه ی آن روز از ۳۰ درجه سانتیگراد فزونی یابد؛ همچنین روز یخبندان عبارتست از روزی که در آن دمای کمینه صفر یا کمتر از آن باشد(سمنوف، ۲۰۰۲). در شکل ۳، نمودار تعداد روزهای داغ و یخبندان در دهه های آتی نشان داده شده است.











شکل۷: تغییرات فصلی روزهای داغ (چپ) و یخبندان(راست) در ایستگاه های حوضه خزر در دهه های آتی

بر اساس نتایج این تحقیق، تعداد روزهای داغ دوره های آتی در فصول پاییز، زمستان و بهار در تمامی ایستگاه ها (به استثنای فصل بهار گرگان) و تحت هر دو سناریوی A2 وB2 افزایش می یابد. به استثنای ایستگاه گرگان که کاهش تعداد روزهای داغ به جای تابستان در بهار رخ داده است؛ تعداد روزهای داغ در فصل تابستان در تمامی ایستگاه ها کاهش یافته است.بیشترین افزایش روزهای داغ در دهه ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و به میزان ۵۸ درصد نسبت به دوره دیدبانی خواهد بود. تعداد روزهای یخبندان در فصل زمستان در هر سه دوره آتی، تمامی ایستگاه ها و تحت هر دو سناریوی A2 و B2 کاهش می یابد. وضعیت مشابهی برای فصل پاییز دیده می شود، به استثنای دوره اول که در دو ایستگاه گرگان و رشت تعداد روزهای یخبندان افزایش یافته است. در فصل بهار هم به استثنای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ که در آن تعداد روزهای یخبندان در رشت و انزلی افزایش یافته است، در سایر ایستگاه ها، دوره ها و سناریوها، تعداد روزهای

یخبندان کاهش یافته است. بیشترین کاهش در تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه رشت و در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به تعداد ۲۳ رخ خواهد داد. تعداد روزهای یخبندان در فصل تابستان در دوره دیدبانی و آینده صفر می باشد.

نتیجه‌گیری

دریای خزر و حوضه جنوبی آن منطقه ای حساس از نظر اقلیمی می باشد؛ نوسانات سطح این دریا در گذشته، وقوع سیل های سنگین مانند سیل های سال های ۱۳۸۰و ۱۳۸۱ و بارش برف سنگین در سال ۱۳۸۶، نمونه هایی از رخدادهای حدی اقلیمی در این منطقه می باشد. بخش مهمی از بارش های این حوضه از مکانیسم بارش متفاوتی نسبت به سایر نواحی کشور و حتی منطقه پیروی می کند که موجب بروز تردیدهایی در شبیه سازی چشم انداز اقلیم آتی آن توسط مدل های گردش کلی در آینده می شود. برای کاهش عدم قطعیت شبیه سازی اقلیم آتی این حوضه، از دو روش ریزمقیاس نمایی آماری(SDSM) و دینامیکی(PRECIS) استفاده گردید. شبیه سازی به روش آماری شامل دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱ بود در حالیکه به روش دینامیکی به دلیل محدودیت در دریافت داده های شرایط مرزی، صرفا شامل دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ و میانگین بارش و دما بود. ریزمقیاس نمایی آماری بر روی ۵ ایستگاه گرگان، بابلسر، رامسر، رشت، بندر انزلی انجام شد، اما در روش دینامیکی معادلات حاکم بر روی شبکه هایی به ابعاد ۰,۴۴×۰,۴۴ حل شدند. نتایج نشان دادند که میانگین بارش حوضه در سه دوره آینده نزدیک(۲۰۳۹-۲۰۱۱)، آینده میانه(۲۰۶۹-۲۰۴۰) و آینده دور(۲۰۹۹-۲۰۷۰) بین ۲۴/۵ تا ۱/۲۸ درصد تحت سناریوهای A2 و B2 کاهش می یابد که کاهش در مناطق غرب و مرکز حوضه بیشتر از شرق آن می باشد؛ ممکن است کاهش بیشتر بارش در مناطق مرکزی و غربی خزر به دلیل تاثیرپذیری بیشتر آنها از مکانیسم بارش های خزری باشد، در حالیکه مناطق شرقی کمتر از مکانیسم مذکور پیروی می کنند. این موضوع با مطالعه رسولی و همکاران(۱۳۹۱) هماهنگ می باشد. در روش ریزمقیاس نمایی دینامیکی(PRECIS) به استثنای منطقه کوچکی در اطراف ایستگاه رامسر که مساحت آن کمتر ۵ درصد کل حوضه می باشد، در تمامی مناطق دیگر و همچنین در روش ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) بارش حوضه در دهه های آتی کاهش می یابد. با دور شدن از نوار ساحلی کاهش بارش نیز بیشتر می شود. آستانه بارش های سنگین و خیلی سنگین که به ترتیب مقادیر بارش در صدک های ۹۵ و ۹۹ در نظر گرفته شد، در دهه های آتی نسبت به آستانه مقادیر مذکور در دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به ترتیب ۱۰,۳ درصد و ۱۷,۱ درصد افزایش می باشند که نشان از جابجایی بارش حوضه به سمت بارش های سنگین و سیل آسا می باشد. دمای حوضه در انتهای قرن حاضر به طور میانگین بین ۳,۱ تا ۴,۲ درجه سلسیوس تحت دو سناریوی B2 و A2 افزایش خواهد یافت. افزایش دما در ایستگاه های نزدیک به ساحل به مراتب کمتر از ایستگاه هایی هستند که از ساحل فاصله دارند. به عنوان مثال در ایستگاه بندر انزلی افزایش دما ۳/۳ ولی در ایستگاه رشت ۴/۱درجه سلسیوس می باشد که می تواند ناشی از اختلاف در ظرفیت گرمایی آب و خشکی و نیز سرعت کم افزایش دما در پهنه های آبی در مقایسه با خشکی باشد. میانگین افزایش دما در سناریوی B2 بین ۰,۸ تا ۱,۷ درجه سلسیوس کمتر از سناریوی A2 می باشد که می تواند ناشی از فرضیه انتشار و غلظت کمتر گازهای گلخانه ای در سناریوی B2 باشد. از تعداد روزهای یخبندان به مقدار قابل توجهی کاسته می شود که بیشترین کاهش در ایستگاه بابلسر می باشد که در آن میانگین سالانه تعداد

روزهای یخبندان در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ حدود ۷۰ درصد نسبت به دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ کاسته می شود. در ایستگاه های مورد مطالعه میانگین سالانه تعداد روزهای داغ ($Tmax\geq 30^oC$) در دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ بین ۲۰ تا ۴۵ درصد حوضه نسبت به دوره پایه افزایش می یابد.

افزایش آستانه بارش های سنگین و سیل آسا همزمان با کاهش میانگین بارش موجب می شود تا بارش های حوضه به صورت سیل آسا رخ داده و منجر به بروز سیل و خسارت گردد، لذا پیشنهاد می شود دستورالعمل ها و استانداردهای ساخت تاسیسات زیربنایی گذشته مورد بازنگری قرارگرفته به نحوی که مقاومت سازه ها و تاسیسات نسبت به بارش های سیل آسا افزایش یابد. افزایش میانگین دما و کاهش بارش منجر به افزایش نیاز آبی محصولات کشاورزی و پوشش های جنگلی و سایر اکوسیستم های طبیعی، دریایی و جانوری حوضه می گردد. به طور کلی رفتار اقلیم آتی حوضه به گونه ای است که می تواند منجر به کاهش رشد اقتصادی، حذف اکوسیستم های طبیعی، پوشش های جنگلی، کاهش ضریب آسایش زیست اقلیمی و به دنبال آن کاهش گردشگری در منطقه گردد.

منابع

بابایان ایمان، نجفی نیک زهرا (۱۳۸۵)، معرفی و ارزیابی مدل لارس برای مدل سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۳ ، مجله نیوار، شماره ۶۲ و ۶۳، پاییز و زمستان ۱۳۸۵، صص ۴۹-۶۵.

بابائیان ایمان، نجفی نیک زهرا، زابل عباسی فاطمه، حبیبی نوخندان مجید، ادب حامد، ملبوسی شراه (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده های مدل گردش عمومی جو .ECHO-Gمجله جغرافیا و توسعه، ۱۶، صص: ۱۳۶-۱۵۲.

حمیدیان پور محسن، باعقیده محمد، عباس نیا محسن(۱۳۹۵)، ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب‌شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دورهٔ ۲۰۱۱-۲۰۹۹، پژوهشهای چغرافیای طبیعی، دوره ۴۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۵، صص: ۱۰۷-۱۲۳.

رحیم زاده فاطمه، عسگری احمد، فتاحی ابراهیم، محمدیان نوشین، تقی پور افسانه (۱۳۸۸)، روند نمایه های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱، تحقیقات جغرافیایی، دوره ۲۴، شماره ۹۳، صص: ۱۴۴-۱۱۹.

رسولی علی اکبر، بابائیان ایمان، قائمی هوشنگ، زواررضا پیمان(۱۳۹۱)، تحلیل سری های زمانی فشار مراکز الگوهای سینوپتیکی موثر بر بارش های فصلی ایران، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۷، صص: ۸۸-۷۷.

عراقی نژاد شهاب، کارآموز محمد، (۱۳۸۴)، پیش بینی بلند مدت رواناب با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱، شماره ۲، صص: ۴۱-۲۹.

گل محمدی مریم، مساح بوانی علیرضا(۱۳۹۰)، بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی های حوضه قره سو در دوره های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم، نشریه آب و خاک، دوره ۲۵، شماره۲ ، صص: ۳۲۶-۳۱۵.

Babaian E., Modirian R., Karimiyan M.,Malbusi Sh. (2015), Capability of PRECIS Regional Climate Model for Modelling Regional Precipitations of Iran. Journal of Desert,Vol. 4(20):,pp 123-134.

Badrul M.M., Soni, P.., Shrestha, S., Tripathi N.K. (2016), Changes in Climate Extremes over North Thailand, 1960–2099. Journal of Climatology, Vol.2016, Article ID 4289454, pp 18-33.

Chamchati H., & Bahir M. (2011), Contribution of climate change on water resources in semi-arid areas: Example of the Essaouita Basin (Morocco), Am. J. Sci. Ind. Res, 2(2), pp 209-215.

Cheema S.B., Rasul, G., Ali G., Kazmi D.H. (2013), A Comparison of Minimum Temperature Trends with Model Projections, Pakistan Journal of Meteorology, Vol. 8. Issue 15.

Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T.R., Mearns, L.O. (2000), Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. Science, 289(5487): pp. 2068-2074.

Fan, L., Xiong, Z. (2015), Using quantile regression to detect relationships between large-scale predictors and local precipitation over northern China, Advances in Atmospheric Sciences, 32(4), pp 541-552.

Fernández-Long, M. E., Müller, G. V., Beltrán-Przekurat, A., Scarpati, O. E. (2013), Long-term and recent changes in temperature-based agro climatic indices in Argentina, International Journal of Climatology, 33(7), pp 1673-1686.

Ha, K. J., Yun, K. S. (2012), Climate change effects on tropical night days in Seoul, Korea, Theoretical and Applied Climatology, 109(1-2), pp 191-203.

IPCC (2013), Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker T.F., D. Qin, G.-K. Plattner M. Tignor, S.K.

IPCC, (1995), In Watson, R.T., Zinyowera, M.C., Moss, R.H. (Eds.), Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses, Cambridge University Press, UK, 878p.

Johnson G. L., Hanson C. L., Hardegree S. P., Ballard E.B. (1996), Stochastic weather simulation: overview and analysis of two commonly used models, Journal of Applied Meteorology, 35, pp 1878-1896.

Kalnay E. M., Kanamitsu R., Kistler W., Collins D., Deaven L., Gandin M., Iredell S., Saha G., White J., Woollen Y., Zhu A., Leetmaa R., Reynolds M., ChelliahW., Ebisuzaki W., Higgins J., Janowiak K. C., Mo C., Ropelewski J., WangRoy J., and Dennis J. (1996), The NCEP/NCAR 40-Year Reanalysis Project. Bull. Amer. Meteor. Soc., 77, pp. 437–471. doi: http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477(1996)077<0437:TNYRP>2.0.CO;2.

Klein T., Zwiers F. W., Zhang X. (2009), Guideline on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation, WMO Publication, WCDMP-No. 72, 55pp.

Mc kague k. (2003), Clim Gen- A ZGnvenient weather Generator tool for Canadian climate stations, proceeding of CCAE/SCGR 2003 Meeting, Montreal, Canada.

McFadden, J., Miranowski, J. (2014), Climate Change Impacts on the Intensive and Extensive Margins of US Agricultural Land. In 2014 Annual Meeting, July 27-29, 2014, Minneapolis, Minnesota (No. 170512). Agricultural and Applied Economics Association.

Rajabi, A. Shabanlou, S. (2012,),. Climate Index Changes In Future By Using SDSM In Kermanshah, Iran., Journal of Environmental Research And Development, 7(1).

Semenov M. A., Barrow E. M. (2002), LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies, Rothamsted Research, UK, pp. 28.

Seneviratne, S. I., Donat, M. G., Mueller, B., & Alexander, L. V. (2014), No pause in the increase of hot temperature extremes. Nature Climate Change,4(3), pp. 161-163.

Seo, Y. A., Lee, Y., Park, J. S., Kim, M. K., Cho, C., & Baek, H. J. (2015), Assessing changes in observed and future projected precipitation extremes in South Korea, International Journal of Climatology, 35(6), pp 1069-1078.

Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K. B., Tignor M., and Miller H.L. (2007), Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, U. K.

Wilby R. L., Dawson C. W., and Barrow E. M. (2002), SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, Journal of Environmental Modeling and Software, 17, pp145-157.

Wilks D.S., and Wilby R. L. (1999), The Weather Generation game: a review of Stochastic Weather Models. Progresses in Physical Geography, 23, pp 329-357.

Zhao, C., Wang, W., and Xing, W. (2012), Regional Analysis of Extreme Temperature Indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009, International Conference on Modern Hydraulic Engineering, 28: pp 604-607.

Future climate projection of the southern Caspian basin under global warming, case study: HadCM3 model

Iman Babaeian*[1], Elham Fahiminezhad[2], Mohamad Baaghideh[3], Maryam Karimian[4], Rahele Modirian[5], Fatemeh Bayatani[6]

Received: 2016-10-10 Accepted: 2017-09-03

Abstract

In the recent years, the southern basin of Caspian Sea has been faced with several extreme climatic events including droughts, heavy rain falls, snowfalls and floods and heat waves. The study area covers all stations with at least 30 years' observation data which are located in the southern basin of Caspian Sea. The Downscaling on to precipitation and temperature parameters has been performed for the period of 2010-2099 by using both of statistical and dynamical methods under SRES A2 and B2. SDSM as a statistical tool has been used for the whole period (1961-2099). The results have been evaluated in monthly and yearly time-scales. In yearly time-scale, we found that mean of precipitation will decrease significantly, especially over central and western parts of the study area. Also, minimum and maximum of decreasing in annual precipitation belong to the Gorgan and Babolsar stations between 24.7 – 59.6 percent, respectively. The total number of daily maximum precipitation with 10, 20 and 30 mm/day and with 95 and 99 percentiles will be increased over all stations and under A2 and B2 scenarios during the next decades of 2011-2039, 2040-69 and 2070-2099. Mean increasing in annual temperature of the study area is projected to be 1-1.8, 1.9-3.3 as well as 2.4-5.1 C0in the period of 2011-2039, 2040-69 and 2070-2099, respectively. The total number of frost days has been decreased significantly as well. The final results of SDSM as statistical method and PRECIS as a dynamical method are matched to each other.

Keywords: Caspian, Emission scenarios, Downscaling, SDSM, PRECIS.

[1]*- Assistant professor, Climatological Research Institute, Climate Change Division, Iran Meteorological Organization, Mashhad, Iran
Email: ibabaeian@yahoo.com
[2]- PhD. Student, Department of Geography and Environmental science, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran
[3]- Assistant professor, Department of Geography and Environmental science, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran
[4]- M.Sc. in Physics, Climatological Research Institute, Climate Change Division, I. R. of Iran Meteorological Organization, Mashhad, Iran
[5]- M.Sc. in Physics, Climatological Research Institute, Climate Change Division, I. R. of Iran Meteorological Organization, Mashhad, Iran
[6]- PhD. Student, Department of Geography and Environmental science, University of Hakim Sabzevari, Sabzevar, Iran