

 DOR: 20.1001.1.20087845.1401.11.41.9.6

مقاله پژوهشی

ارزیابی کارایی مدل‌های تغییر اقلیم در شبیه‌سازی مولفه‌های دما و بارش (مطالعه موردی حوزه آبخیز کرگانرود)

محمدرضا شیخ ربیعی؛ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست،

واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

حمیدرضا پیروان*؛ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران (نویسنده

مسئول).

پیمان دانشکار آراسته؛ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی، قزوین، ایران.

مهری اکبری؛ دانشیار گروه اقلیم‌شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

بهارک معتمد وزیری؛ استادیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد

اسلامی، تهران، ایران

چکیده:

با توجه به زمان بر بودن و عدم صرفه اقتصادی استفاده از مدل‌های دینامیکی، استفاده از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی اقلیمی آماری افزایش یافته است. در این پژوهش نتایج مدل‌های اقلیمی MIROC، HadGEM2-ES و NoerESM1-M که توسط جعبه ابزار CCT پس از شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی روزانه بارش، دمای حداکثر و حداقل ریزمقیاس‌سازی شدند در حوزه آبخیز کرگانرود در استان گیلان ارزیابی و مقایسه شده است. از اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی در دوره ۲۰۱۸-۱۹۷۵ به عنوان دوره مشاهداتی استفاده شده است. پارامترهای روزانه بارش، دمای حداکثر و حداقل حوزه آبخیز کرگانرود تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و به ترتیب در سه دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ شبیه‌سازی انجام و با دوره مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور بررسی ارزیابی مدل‌های اقلیمی MIROC، HadGEM2-ES و NoerESM1-M از شاخص‌های ارزیابی NS، R^2 و RMSE بهره گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که مقایسه تغییرات داده‌های دمای آتی منطقه با استفاده از مدل‌های اقلیمی بکار گرفته شده با دوره مشاهداتی با توجه به آزمون من-کندال، تصادفی نبوده و تحت تاثیر عواملی، علاوه بر همبستگی، روند معنی‌دار از خود نشان دادند که بیشترین سطح معنی‌داری به ترتیب مربوط به دمای حداکثر ($Z=4/04$) و دمای حداقل ($Z=4/6$) در سطح اطمینان بالای ۹۵ درصد در مدل اقلیمی NoerESM1-M و در دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ تحت سناریوی RCP8.5 و میزان آن افزایش می‌باشد. نتایج ضرایب NS و R^2 نشان داد که در هر سه مدل اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES و در هر دو سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آتی و در مولفه‌های بارش، دمای حداکثر و حداقل کارایی مناسبی دارند. نتایج RMSE در خصوص مولفه بارش نشان داد که مدل اقلیمی MIROC در هر دو سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آتی کارایی بهتری نسبت به مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M و HadGEM2-ES دارد. ولی نتایج مربوط به ضریب RMSE در خصوص مولفه‌های دمای حداکثر و حداقل نشان داد که مدل اقلیمی HadGEM2-ES در هر دو سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آتی در مجموع کارایی بهتری نسبت به مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M و MIROC دارد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، MIROC، NoerESM1-M، HadGEM2-ES، CCT، گزارش پنجم هیات بین‌الدول

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۵/۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۶/۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۹

۱- مقدمه

در حال حاضر تغییر اقلیم به عنوان یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی قرن بیست و یکم شناخته شده است. نتایج حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)^۱ حاکی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تأثیرات قابل توجه بر اقلیم در سراسر جهان را نشان می‌دهد (IPCC، ۲۰۰۷). تمام خروجی‌های گردش عمومی جو شامل ضرایب خطای زیادی است که اگر اصلاح نشود، می‌تواند منجر به خطاهای قابل توجهی در ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی منطقه‌ای شود (تویچباین و سایرین، ۲۰۱۲). مدیریت و پردازش پایگاه داده‌های بزرگ با تفکیک مکانی بالا و سری‌های زمانی طولانی، اصلاح ضرایب خطا و کوچک مقیاس‌سازی مقادیر خروجی گردش عمومی جو و درهم آمیختگی فضایی داده‌های اقلیمی برای دستیابی به دقت بیشتر تقریباً در هر مطالعه تغییر اقلیم وظایف معمول است (احمد و دیگران^۴، ۲۰۱۳) این وظایف باعث می‌شود که مطالعات تغییر اقلیم وقت گیر، تکراری و خسته کننده باشد (ون و ورن و کارتر^۵، ۲۰۱۴).

فرآیند تغییر اقلیم به ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی است. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی، اقتصادی و اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نماید. تغییرات معنی‌دار دمای کره زمین یا گرمایش جهانی به عنوان مهمترین نمودهای تغییر اقلیم در قرن حاضر مورد توجه قرار گرفته است (IPCC، 2007). داده‌های هواشناسی و نتایج مدل شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که متوسط دمای اتمسفر در حال افزایش است که خود سبب کاهش مقدار بارش تابستانه و افزایش احتمال و شدت وقوع خشکسالی و امواج حرارتی به خصوص در نواحی خشک و نیمه خشک می‌گردد (چارتزولاک^۶، ۲۰۰۵). میانگین دما و بارش هوا در سطح زمین و تغییرات آن پارامترهایی از تغییرات اقلیمی هستند که تقریباً در تمامی نظریه‌های تغییر اقلیم، به عنوان عوامل اصلی مطرح شده‌اند. با بررسی روند تغییرات میانگین دما و بارش می‌توان تغییرات اقلیمی را مورد بررسی قرار داد. براساس گزارش سوم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، دمای سطح زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای از ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ مقدار ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد (لین و همکاران، ۱۹۹۹). اعتماد به نتایج مدل‌ها تا حد زیادی متفاوت است و به طور عمده به روش‌ها و ساختار سناریوی اقلیمی و مدل هیدرولوژیکی بستگی دارد. با استفاده از داده‌های جهانی اگر دمای کره زمین به میزان یک درجه افزایش یابد، رواناب در مقیاس جهانی ۴ درصد افزایش می‌یابد (کالیک و همکاران^۷، ۲۰۱۵). از طرف دیگر ناهنجاری‌ها در دما و بارندگی نقش مهمی در صنعت کشاورزی و توسعه سریع کشور ایران ایفاء می‌کند. رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه سریع اقتصادی نشان می‌دهد که ایران با چالش‌های گسترده‌ای در منابع آب قابل دسترس در حال حاضر و به ویژه در آینده مواجه است (افشار و همکاران، ۲۰۱۷). بنابراین به نظر می‌رسد که مطالعات تغییر اقلیم در حوزه‌های آبخیز ایران توسط مدل‌های اقلیمی با وضوح بالا و به ویژه توسط مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم تحت سناریوهای جدید انتشار امری ضروری به نظر می‌رسد. به گونه‌ای که تحقیقات افشار و همکاران^۸ (۲۰۱۷)، در رابطه با ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های اقلیمی در حوزه آبخیز کشف رود در دوره‌های آتی و با استفاده از گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم نشان داد که مؤلفه بارش، روند تغییرات قابل توجه کاهشی و افزایشی متغیری را از خود نشان می‌دهد.

1. General Circulation Models
2. Intergovernmental Panel on Climate Change
3. Teutschbein and Seibert
4. Ahmed and et al
5. Van and Carter
6. Chartzoulakis
7. Kalcic and et al
8. Afshar and et al

همچنین، دمای متوسط حوضه نیز روند افزایشی قابل توجهی با سطح اعتمادپذیری ۹۰، ۹۹، ۹۹/۹ درصد از خود نشان می‌دهد. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که تا انتهای قرن ۲۱ و در مقایسه با دوره تاریخی در تمامی مناطق حوزه آبخیز کشف رود مطالعاتی و با در نظر گرفتن تمامی مدل‌ها و سناریوها، به طور متوسط دمای حوضه بین ۰/۵۶ تا ۳/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش به میزان ۱۰/۷ درصد کاهش می‌یابد. ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های مختلف GCM با استفاده از مدل‌ها و نرم افزارهای مختلف از جمله SDSM^۱ و LARS^۲ و CCT^۳ صورت می‌گیرد که CCT یکی از جدیدترین این نرم افزارها است. بنابراین، در واقع نیاز به آزمایش ابزارهای ریزمقیاس سازی آماری موجود برای توانایی آنها در شبیه‌سازی تغییرات شدید اقلیمی، به ویژه بارش (که از نظر ماهیت بسیار پیچیده است) در مقیاس حوزه آبخیز، وجود دارد. برخی مطالعات در مورد این موضوع انجام شده است، اما آنها عمدتاً از روش‌های غیرپارامتری بر اساس شاخص‌های اقلیمی حدی استفاده کرده‌اند (تولیکا و همکاران^۴ ۲۰۰۸).

اکورات و همکاران^۵ (۲۰۱۴)، اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی دریاچه ویکتوریا در شرق آفریقا را در قرن ۲۱ با استفاده از خروجی های مدل‌های گزارش پنجم و تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 در دوره زمانی گذشته (۲۰۰۲-۱۹۹۲) و آینده (۲۰۷۵-۲۰۴۰) مورد بررسی قرار دادند. توانایی مدل‌های اقلیمی در مقیاس روزانه، ماهانه و سالیانه براساس معیارهای ارزیابی خطای میانگین و جذر مربعات (RMSE) مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن بود که مدل MIROC5، HadGEM2-CC، HadGRM2-ES، BCC-CSM1-1، GFDL-ESM2M، GFDL-ESM2G، IPSL-، CM5A-LR و HadCM3 پیش‌بینی می‌کنند. تحت سناریوی RCP4.5 بارش سالانه کمتر از ۱۰ درصد و تحت سناریوی RCP8.5 کمتر از ۲۰ درصد افزایش بارندگی در کل قرن ۲۱ رخ می‌دهد. مسعود و همکاران (۲۰۱۵) اثرات تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های هیدرولوژیکی شامل رواناب، تبخیر و تعرق در حوضه‌های براهامپورتا، گانگز و مقنا واقع در کشور بنگلادش را به کمک پنج مدل گزارش پنجم شامل MIROC5، MIROC-ESM، MRI-CGM3، HadGEM2-ES، MRI-AGCM3.2S و تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در سه دوره زمانی گذشته (۲۰۰۳-۱۹۷۹)، آینده نزدیک (۲۰۳۹-۲۰۱۵) و آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۷۵) مورد ارزیابی قرار دادند و نتایج نشان داد که تا انتهای قرن ۲۱ در کل این سه حوضه دما تا حدود ۴/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش، میانگین بارش (رواناب) برای حوضه‌های براهامپورتا، گانگز و مقنا به ترتیب برابر ۱۶/۳ (۱۶/۲)، ۱۹/۸ (۳۳/۱) و ۲۹/۶ (۳۹/۷) درصد افزایش یافته و این تغییرات در فصل‌های خشک (نوامبر تا آپریل) بیشتر از فصل‌های مرطوب (می تا اکتبر) می‌باشد. از طرف دیگر تبخیر و تعرق نیز بر اثر دما در این حوضه‌ها (به ترتیب در حوضه‌های براهامپورتا، گانگز و مقنا برابر ۱۶/۴، ۱۳/۶ و ۱۲/۹ درصد) افزایش می‌یابد.

کوهستانی و همکاران (۱۳۹۶) طی تحقیقی در حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از چهارده مدل GCM مربوط به گزارش پنجم تغییر اقلیم و تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 خروجی‌های دمای حداقل و حداکثر از سال ۲۰۱۵ تا ۲۱۰۰ را به منظور تغییر اقلیم بررسی نمودند. در این تحقیق مشخص گردید مدل اقلیمی MIROC دارای دقت بالاتری جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیمی نسبت به سایر مدل‌های GCM دارد.

واقفی و همکاران^۶ (۲۰۱۹) تحقیقی را در خصوص بررسی مقادیر حدی آینده اقلیمی در ایران انجام دادند. در این تحقیق با استفاده از مجموعه پنج مدل اقلیمی با دقت بالا برای بررسی حداکثر و حداقل دما و توزیع بارندگی و محاسبه رخداد درجه حرارت بالا (درجه حرارت بالاتر و زیر صدک‌های به ترتیب ۹۵ و ۵) اقدام نمود.

1. Statistical DownScaling Model
2. Long Ashton Reserch Station
3. Climate Change Toolkit
4. Tolika and et al
5. Akurut and et al
6. Vaghefi and et al

نتایج این تحقیق نشان داد با توجه به مقایسه دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۸۰ با دوره ۲۰۴۹-۲۰۲۵، دوره‌های طولانی‌تر خشک (برای دوره مساوی یا کمتر از ۱۲۰ روز: بارش کمتر از ۲ میلی‌متر، دمای ماکزیمم مساوی یا بیشتر از ۳۰ درجه سانتیگراد) و همچنین شرایط مرطوب (برای دوره مساوی یا کمتر از ۳ روز: مجموع بارش مساوی یا بیشتر از ۱۱۰ میلی‌متر) و شرایط بالاتر و فرکانس بالاتر در قسمت جنوبی ایران به احتمال زیاد دوره طولانی‌تر دمای ماکزیمم را تجربه خواهد کرد. به طور کلی، ترکیب این نتایج، حال و هوای دوره‌های خشک طولانی را که توسط باران‌های شدید متناوب متوقف می‌شود، پیش‌بینی می‌کند. وی در این تحقیق بیان کرد که بدون ملاحظه به اقدامات سازگاری، برخی از بخش‌های کشور، ممکن است با قابلیت سکونت محدود در آینده روبرو شوند.

نادری و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی آنالیز الگوهای دما و بارش در آینده را با استفاده از مدل CCT در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه بررسی نمودند. در این مطالعه با استفاده از داده‌های شبکه‌ای آب و هوایی سه مدل گردش عمومی جو (GFDL-ESM2M، HadGEM2-ES و IPSL-CM5A-LR) و با تفکیک ۰/۵ درجه تهیه شده توسط مرکز ISI-MIP5، تحت دو سناریو انتشار RCP4.5 و RCP8.5 الگوهای دما و بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه برای دوره آتی (۲۰۲۴-۲۰۵۰) پیش‌بینی گردید. سپس برای ریزمقیاس نمایی و تصحیح خطاهای داده‌های آب و هوایی مدل‌های GCM از جعبه ابزار کاربردی تغییر اقلیم CCT استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد حوضه دریاچه ارومیه بطور میانگین تا اواسط قرن حاضر (۲۰۵۰) افزایش حداکثر و حداقل دمای سالانه‌ای به ترتیب ۲/۵۵ و ۲/۹۸ درجه سانتی‌گراد و کاهش بارش سالانه‌ای حدود ۱۸/۷ درصد را تجربه خواهد کرد.

محمدعلیزاده فرد و همکاران (۱۳۹۹) مطالعه‌ای را به منظور ارزیابی اثر تغییر اقلیم در مناطق فاقد آمار مشاهداتی با استفاده از بسته نرم افزاری CCT در حوضه دریاچه ارومیه انجام دادند. در این تحقیق با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری بلند مدت در نزدیکی منطقه مطالعاتی، امکان استفاده از داده‌های (CRU) به عنوان داده‌های مشاهداتی با بررسی وجود همبستگی بین این داده‌ها با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در منطقه انجام گرفت. نوسانات آتی بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۵۰ با استفاده از پنج مدل اقلیمی (GCM) و در قالب دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 انجام پذیرفت. در این تحقیق براساس مقدار RMSE و استفاده از داده‌های (CRU) مناسب‌ترین مدل اقلیمی در هر ایستگاه مشخص گردید.

هدف از این مطالعه بررسی تغییر اقلیم و اثر آن بر مولفه‌های دما و بارش با استفاده از مدل‌های NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES بر اساس خروجی ریزمقیاس نمایی شده توسط جعبه ابزار CCT (با استفاده از روش جداسازی فضائی تصحیح اریبی - BCSD) می‌باشد. در این پژوهش پیش‌بینی‌های آتی در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۵-۲۰۵۰)، متوسط (۲۰۲۵-۲۰۷۵) و دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) تحت دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ در مقایسه با دوره مشاهداتی (۱۹۷۵-۲۰۱۸) صورت پذیرفت. مهمترین نوآوری این مقاله کاربرد مدل گردش عمومی مندرج در گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم با استفاده از خروجی ریزمقیاس نمایی شده توسط جعبه ابزار CCT جهت بررسی میزان تغییرات مولفه‌های دما و بارش در حوزه آبخیز کرگانرود در دوره آتی می‌باشد. همچنین به منظور بررسی عملکرد و بررسی روند تغییرات در تعیین همبستگی و نیز تطابق توزیع شاخص‌های اقلیمی در داده‌های مشاهداتی و ریزمقیاس شده مدل‌های NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES به ترتیب از آزمون من-کندال، ناش - ساتکلیف (NS)، ضریب همبستگی (R²) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) بهره گرفته شده‌است.

۲- داده‌ها و روش پژوهش

۲-۱- خصوصیات منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه حوزه آبخیز کرگانرود با وسعتی حدود ۵۲۵/۴۹ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی $30^{\circ} 48'$ تا $50^{\circ} 48'$ طول شرقی $42^{\circ} 37'$ تا $56^{\circ} 37'$ عرض شمالی در استان گیلان است. حداقل ارتفاع در ۱۳۹ متر و حداکثر آن در بلندی ۳۲۳۳ متر از سطح آبهای آزاد قرار دارد. متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز کرگانرود ۱۰۵۷ میلی‌متر می‌باشد. همچنین بیشترین بارندگی ماهانه نیز به ترتیب با ۱۶۱ و ۱۲۹ میلی‌متر در ماه‌های اکتبر و سپتامبر اتفاق می‌افتد که هر کدام حدود ۱۵ و ۱۲ درصد از کل بارش را به خود اختصاص می‌دهند. ماه‌های جولای و می خشک‌ترین ماه‌های سال می‌باشند. این حوضه دارای متوسط درجه حرارت سالیانه $10/7$ درجه سانتی‌گراد، متوسط حداقل و حداکثر درجه حرارت سالیانه این حوضه به ترتیب ۲ و $19/4$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقشه پایه حوضه، آبراهه‌ها و کاربری اراضی در اشکال (۱) و (۲) و (۳) نشان داده شده است.

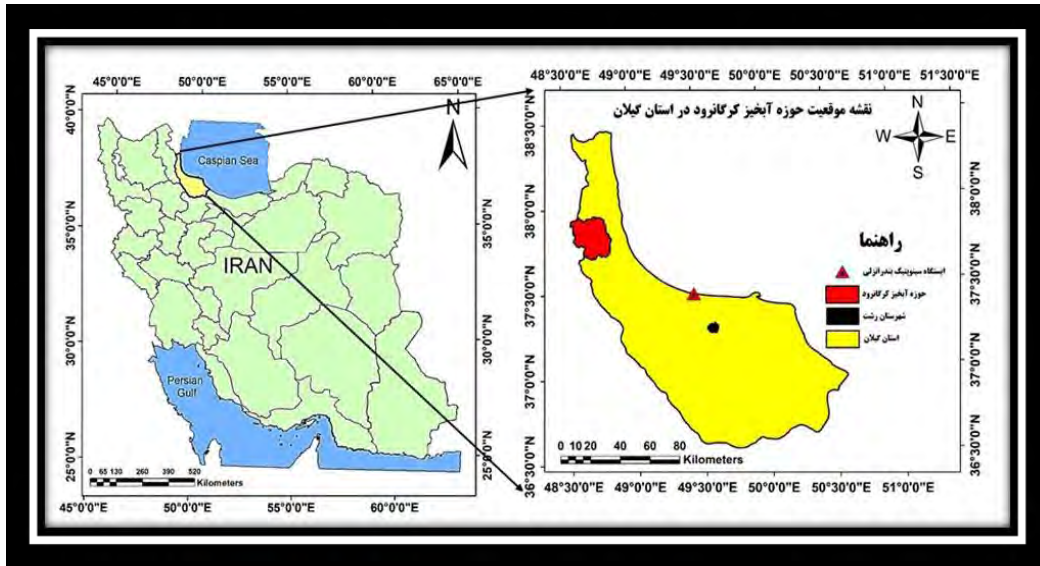
در این تحقیق، داده‌های مشاهداتی روزانه درجه حرارت حداقل و حداکثر، بارش از نزدیک‌ترین ایستگاه سینوپتیک و در حدود ۶۰ کیلومتری به حوزه آبخیز کرگانرود (ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی) از سازمان هواشناسی استان گیلان و در دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۷۵) تهیه گردید. موقعیت ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی در طول شرقی جغرافیایی $45^{\circ} 49'$ و عرض شمالی جغرافیایی $47^{\circ} 37'$ است.

۲-۲- مدل و سناریوهای واداشت تابشی در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم

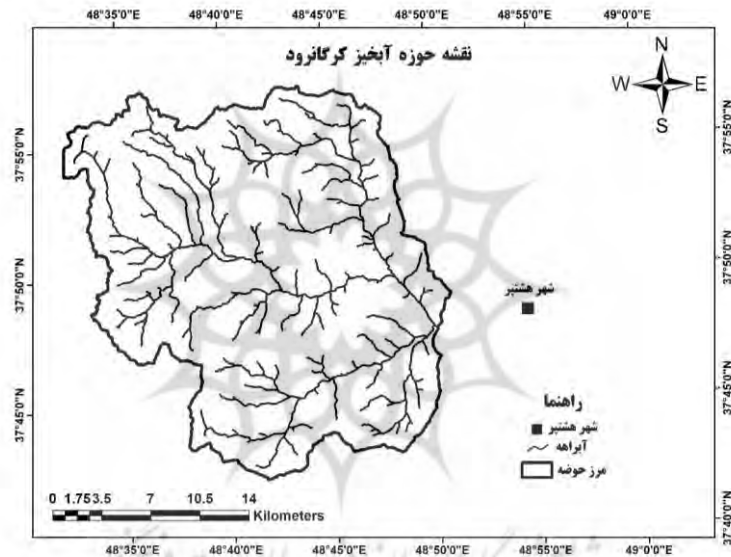
برخلاف سناریوهای انتشار استفاده شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (AR4)، در گزارش ارزیابی پنجم (AR5) از نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP¹) استفاده می‌گردد. سناریوهای جدید انتشار براساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ میلادی بنا نهاده شده‌اند. از بین جدیدترین مدل‌های مستخرج از گزارش پنجم، مدل‌های MIROC، HadGEM2-ES و NoerESM1-M جهت بررسی تغییرات اقلیم آتی تحقیق حاضر، انتخاب گردید. زیرا این مدل‌ها براساس معیارهای ارزیابی بیش‌ترین انطباق را با داده‌های مشاهداتی حوضه از خود نشان داد که نتایج افشار و همکاران (۲۰۱۷)، این نتایج را پشتیبانی و تأیید می‌کند. این مدل‌ها شامل چهار سناریوی واداشت تابشی با نام‌های RCP 2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشند (ون و ورن و همکاران، ۲۰۱۱). به عنوان مثال در RCP2.6، که کم‌ترین میزان انتشار را داراست کل واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ میلادی به اوج خود یعنی ۳ وات بر مترمربع خواهد رسید و بعد از آن روند کاهشی را دنبال می‌کند. سناریوی RCP4.5 یک سناریوی ثابت با افزایش نیروی واداشت تابشی کل تا سال ۲۰۷۰ میلادی و با غلظت‌های پایدار بعد از سال ۲۰۷۰ میلادی می‌باشد.

همچنین سناریوی RCP8.5 به طور مداوم در حال افزایش نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ و تقریباً برابر ۸/۵ وات بر مترمربع می‌باشد (چونگ‌های و یانگ^۲، ۲۰۱۲).

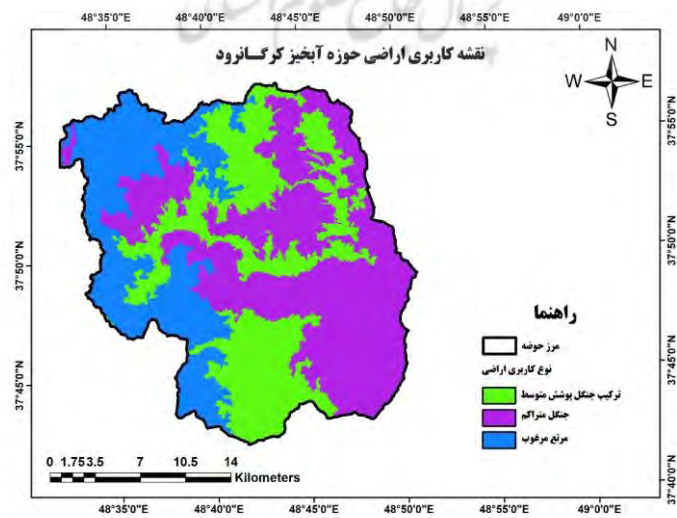
1. Representative Concentration Pathway; RCP
2. Van and et al
3. Chong and Ying



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



شکل (۲): نقشه آبراهه‌های حوزه آبخیز کرگانرود



شکل (۳): نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز کرگانرود

۲-۳- شبیه سازی و ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی

در این پژوهش ابتدا داده‌های هواشناسی حداقل و حداکثر دما و بارش با گام زمانی روزانه از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۸ میلادی مربوط به ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی تهیه شد. بررسی تغییرات دمای حداقل و حداکثر ایستگاه بندرانزلی در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۷۵ بیانگر آن است که سردترین ماه مربوط به فوریه و به میزان ۱/۶ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۷۶ و گرمترین ماه مربوط به جولای و به میزان ۳۴/۱ درجه سانتی‌گراد بوده است. همچنین میانگین بارندگی این ایستگاه در دوره مشاهداتی ۱۶۸۶/۵ میلی‌متر و بیشترین میزان بارش مربوط به ماه نوامبر و میزان ۷۸۳ میلی‌متر در سال ۱۹۷۸ و بیشترین میزان بارش سالانه به میزان ۲۸۰۶ میلی‌متر در سال ۲۰۱۱ بوده است. مدل‌های گردش عمومی جو یک فرصت مناسب را جهت پیش‌بینی تغییرات اقلیم آینده و تحت خطوط سیر مختلف یا سناریوهای واداشت تابشی فراهم می‌آورد.

این مدل‌ها دارای وضوح نسبتاً پایین بوده و برای مطالعات در سطح منطقه‌ای و محلی مناسب نمی‌باشند. بنابراین خروجی این مدل‌ها به منظور استفاده در مقیاس منطقه‌ای بایستی ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس نمایی به منظور تجزیه و تحلیل روند هیدرولوژیکی منطقه‌ای، به دو رویکرد دینامیکی و آماری تقسیم بندی می‌شوند. در این تحقیق از روش ریزمقیاس نمایی آماری CCT استفاده گردید. این برنامه با اهداف مختلفی طراحی شده است که شامل استخراج داده‌ها، مدیریت داده‌های اقلیمی جهانی، ریزمقیاس نمایی و تصحیح اریبی (خطای مدل)، درون‌یابی فضایی و آنالیز روزهای آنومالی یا بحرانی متوالی است (واقفی و همکاران، ۲۰۱۷). با استفاده از جعبه ابزار CCT و در سه مرحله نسبت به ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های اقلیمی جهانی اقدام گردید. در مرحله اول داده‌های بارندگی و دمای محلی بر اساس نزدیکترین ایستگاه‌های مشاهداتی به نقاط شبکه‌ای در منطقه مورد مطالعه طی دوره مشاهداتی موجود ریزمقیاس می‌شوند. در مرحله دوم سناریوهای داده‌های تاریخی داده‌های اقلیمی جهانی و مشاهداتی بوسیله محاسبه میانگین و آنومالی‌های ماهانه و سالانه در ایستگاه مورد نظر مقایسه می‌شوند.

در مرحله سوم نسبت به تصحیح خطای داده‌ها به روش BCSD اقدام می‌گردد؛ بدین صورت که محاسبه باید برای هر یک از پارامترهای اقلیمی (بارندگی و دمای حداقل و حداکثر) به صورت جداگانه صورت پذیرد.

رایج‌ترین روش‌های ریزمقیاس نمایی عبارتند از عامل تصحیح چندگانه و عامل تصحیح جمع پذیری، به ترتیب برای داده‌های بارندگی و دما. عامل تصحیح چندگانه طبق معادله (۱) محاسبه می‌گردد:

رابطه ۱:

$$P_{Corrected_{ij}} = P_{Corrected_{ij}} \times \frac{\bar{P}_{reference_{ik}}}{\bar{P}_{GCM_{ik}}}$$

P و \bar{P} به ترتیب نمایانگر بارش روزانه (میلی متر بر روز) و میانگین بلندمدت بارش هستند. عامل تصحیح جمع پذیری با توجه به معادله (۲) به دست می‌آید:

رابطه ۲:

$$T_{Corrected_{ij}} = T_{GCM_{ij}} + (\bar{T}_{reference_{ik}} - \bar{T}_{GCM_{ik}})$$

T و \bar{T} به ترتیب نمایانگر دما و میانگین بلندمدت هستند؛ i، j و k طی دوره آتی محاسبه می‌شود.

در این تحقیق تمامی خروجی‌های مدل‌های MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES جهت مقایسه دقیق بین داده‌های شبیه سازی و مشاهداتی، ریزمقیاس گردیدند.

۴-۲- ارزیابی عملکرد مدل‌های اقلیمی

پس از ریزمقیاس‌نمایی با مقایسه داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه، دقت هر مدل با شاخص‌های ارزیابی مختلف مورد بررسی قرار گرفت. روابط ۳ الی ۴ معادله این شاخص‌ها را نشان می‌دهد.

رابطه ۳:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(s_i - \bar{s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (s_i - \bar{s})^2}}$$

رابطه ۴:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}$$

رابطه ۵:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (s_i - o_i)^2}{n}}$$

در روابط فوق O_i به ترتیب مقادیر بارندگی، دمای حداکثر، حداقل و متوسط ماهانه مشاهداتی و S_i به ترتیب مقادیر بارندگی، دمای حداکثر، حداقل و متوسط شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی، \bar{O} و \bar{S} نیز به ترتیب میانگین ریاضی مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده می‌باشند.

۵-۲- تجزیه و تحلیل روند سری‌های زمانی با استفاده از آزمون من - کندال

برای تجزیه و تحلیل روند سری‌های زمانی از روش‌های آماری مختلفی استفاده شد. این روشها به دو گروه کلی از روشهای پارامتریک و غیرپارامتری تقسیم می‌شوند، جایی که روش‌های غیرپارامتری کاربردهای گسترده‌تری دارند (پیرنیا و همکاران، ۲۰۱۹). آزمون من - کندال مبتنی بر سری و یک روش غیر پارامتری است که برای استفاده عمومی توسط سازمان هواشناسی جهانی توصیه می‌شود. به طور گسترده‌ای برای تعیین روند زمانی داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می‌شود (زارنستانک و همکاران ۲۰۱۴؛ یو و همکاران، ۲۰۰۴). آزمون رتبه‌بندی من - کندال یک روش بدون پارامتر بدون توزیع برای تجزیه و تحلیل روند با حداقل فرضیات برای سری‌های زمانی است (پیرنیا و همکاران، ۲۰۱۹).

رابطه ۶:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_1 - x_k)$$

رابطه ۷:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده‌های پس از خود مقایسه می‌شود. با فرض اینکه داده‌ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، واریانس S از رابطه (۸) بدست می‌آید:

رابطه ۸:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}$$

در رابطه (۸)، تعداد داده‌ها، m: تعداد گروه‌ها و t: تعداد داده‌ها در هر گروه می‌باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از رابطه (۹) بدست می‌آید:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases}$$

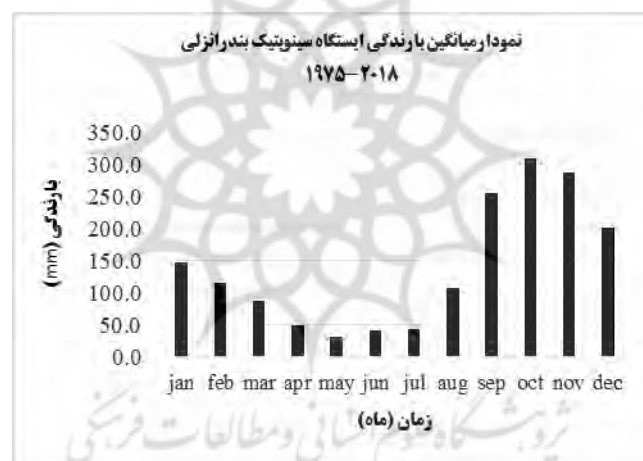
رابطه ۹:

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان α فرض صفر پذیرفته می شود و در غیر این صورت فرض صفر رد خواهد شد. در صورتی که $S > 0$ باشد، سری زمانی دارای روند مثبت (صعودی) و در صورتی که $S < 0$ باشد، سری زمانی روند منفی (نزولی) خواهد بود (مدرسی، ۱۳۸۹).

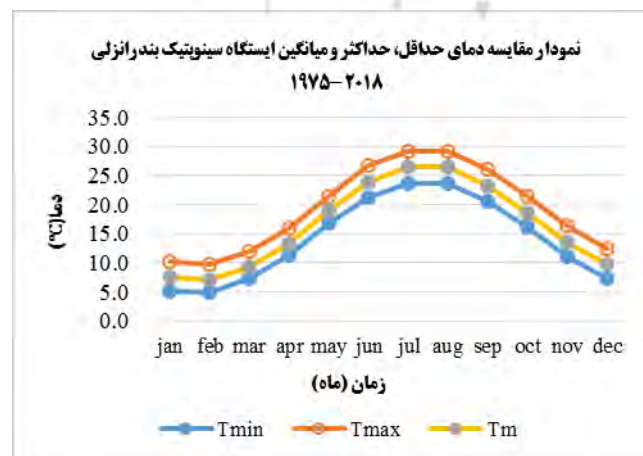
۳- نتایج تحقیق

۳-۱- نتایج مدل سازی تغییر اقلیم

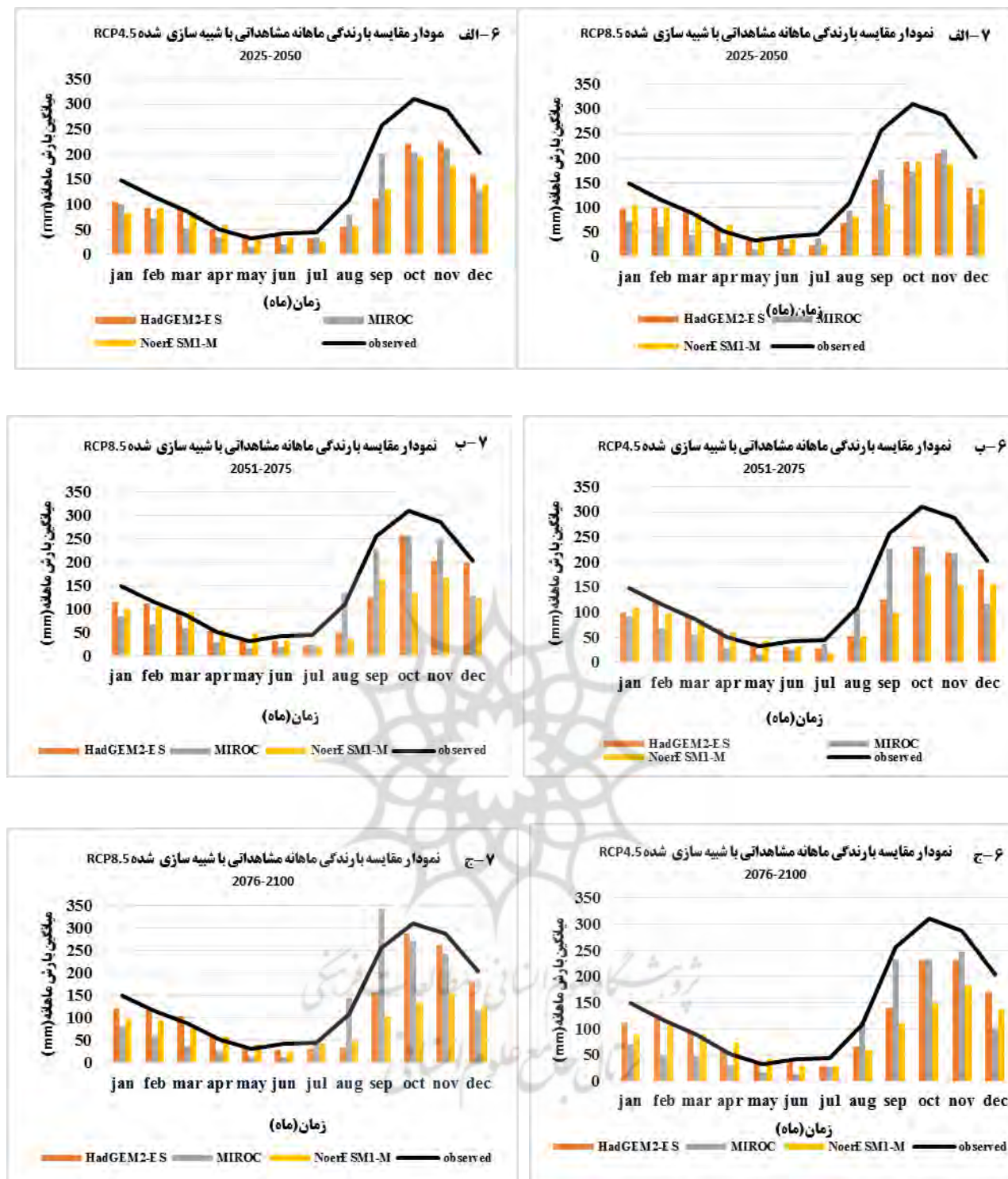
پس از ورود اطلاعات داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی در CCT و مستخرج کردن داده‌های دمای حداقل، حداکثر و بارندگی و کوچک مقیاس سازی داده‌های مشاهداتی و تصحیح خطای داده‌ها به روش BCSD و دریافت داده‌های دمای حداقل، حداکثر و بارندگی براساس مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES طی دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۵-۲۰۵۰)، متوسط (۲۰۵۱-۲۰۷۵) و دور (۲۰۷۶-۲۱۰۰) در مقایسه با دوره مشاهداتی (۱۹۷۵-۲۰۱۸) به شرح زیر حاصل شد. اشکال (۴) و (۵) به ترتیب نمودار میانگین بارندگی و مقایسه دمای حداقل، حداکثر و میانگین ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی در دوره مشاهداتی را نشان می‌دهد.



شکل (۴): نمودار میانگین بارندگی ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی (۱۹۷۵-۲۰۱۸)

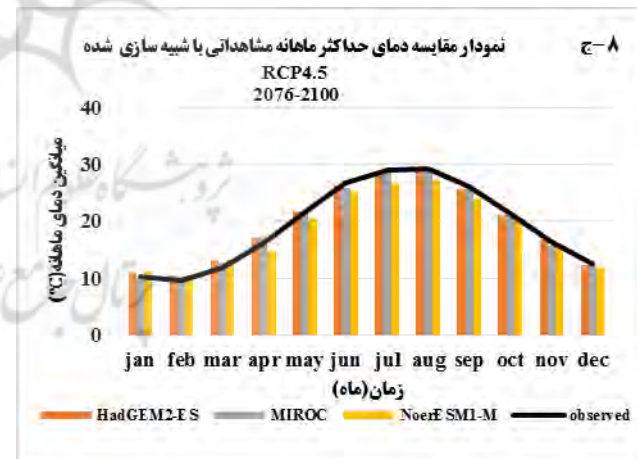
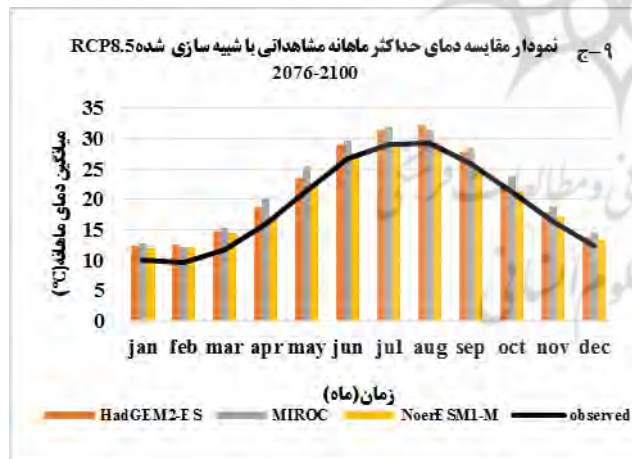
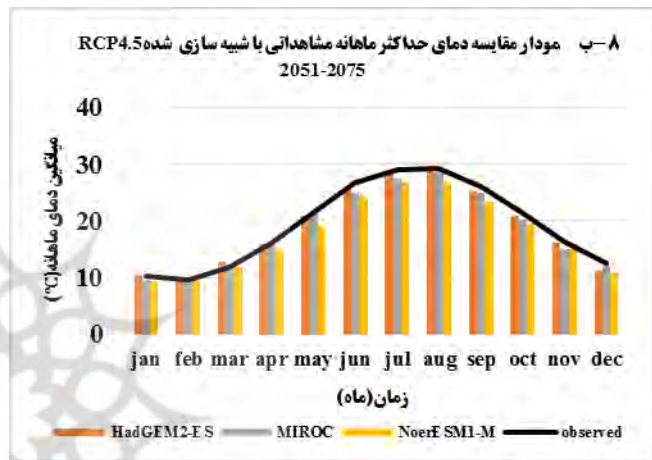
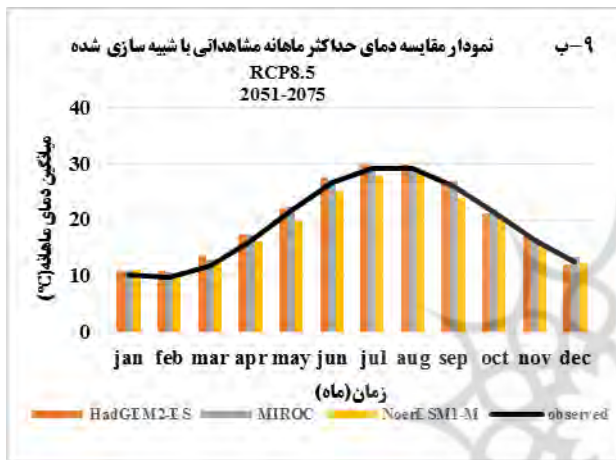
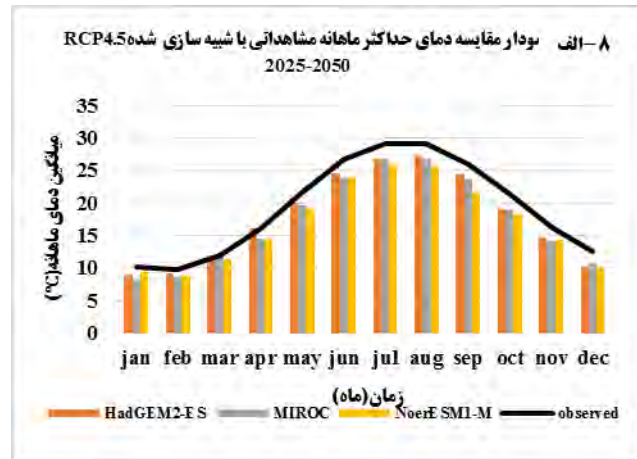
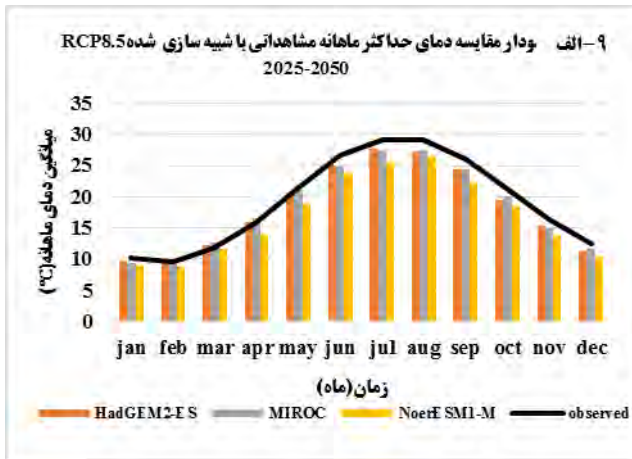


شکل (۵): نمودار مقایسه دمای حداقل، حداکثر و میانگین ایستگاه سینوپتیک بندرانزلی (۱۹۷۵-۲۰۱۸)



شکل (۶): مقایسه میانگین بارش ماهانه دوره‌های آینده تحت سناریوی (۷): مقایسه میانگین بارش ماهانه دوره‌های آینده تحت سناریوی

RCP4.5، مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES، RCP8.5، مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES

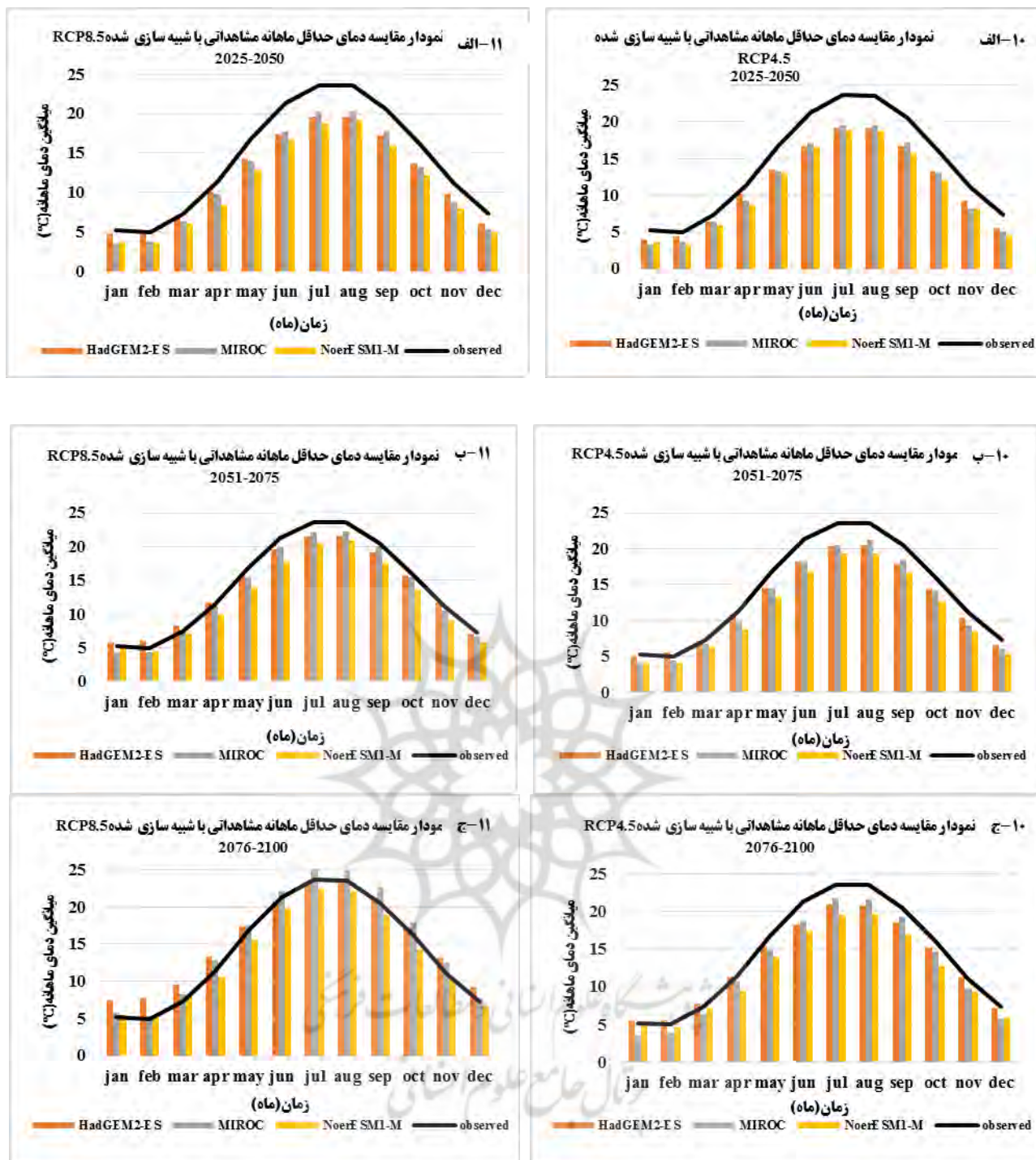


شکل (۹): مقایسه میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره‌های آینده تحت سناریوی RCP8.5، مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES و MIROC، NoerESM1-M

ES

شکل (۸): مقایسه میانگین دمای حداکثر ماهانه دوره‌های آینده تحت سناریوی RCP4.5، مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES و MIROC، NoerESM1-M

ES



شکل (۱۰): مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه دوره‌های آینده تحت سناریوی شکل (۱۱): مقایسه میانگین دمای حداقل ماهانه دوره‌های آینده تحت سناریوی

RCP4.5، مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و RCP8.5 HadGEM2-ES، مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES

بررسی نتایج اجرای مدل HadGEM2-ES نشان می‌دهد که در RCP4.5 بارندگی، دمای حداکثر، حداقل و متوسط در تمامی دوره‌های آبی جز در دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات بارندگی مربوط به دوره آبی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۲۷/۳- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به دوره آبی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و به میزان ۲۰/۷- درصد (کاهش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آبی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۷/۸- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آبی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و به میزان یک درصد (افزایش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای

حداقل مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۱۸/۴- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۶/۳- درصد (کاهش) می‌باشد.

همچنین بررسی نتایج مدل HadGEM2-ES در ارتباط با RCP8.5 نشان می‌دهد که بارندگی در تمامی دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۲۸/۳- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۱۵/۸- درصد (کاهش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۱۰/۹ درصد (افزایش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و به میزان ۳/۶ درصد (افزایش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۱۴/۸- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و به میزان ۲/۸- درصد (کاهش) می‌باشد.

بررسی نتایج اجرای مدل MIROC نشان می‌دهد که در RCP4.5 بارندگی، دمای حداکثر، حداقل و متوسط در تمامی دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۳۱/۵- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و به میزان ۲۷/۷- درصد (کاهش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۱۹/۸ درصد (افزایش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و به میزان ۱۶/۱ درصد (بدون تغییر) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۵ و به میزان ۱۴/۹- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۵/۶- درصد (کاهش) می‌باشد.

همچنین بررسی نتایج مدل MIROC در ارتباط با RCP8.5 نشان می‌دهد که بارندگی در تمامی دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۳۸/۷۳- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۱۷/۷۷- درصد (کاهش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۳۴/۹ درصد (افزایش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۱۵/۶ درصد (کاهش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۱۲/۷ درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و به میزان ۱۲- درصد (کاهش) می‌باشد.

بررسی نتایج اجرای مدل NoerESM1-M نشان می‌دهد که در RCP4.5 بارندگی، دمای حداکثر، حداقل و متوسط در تمامی دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و به میزان ۳۵/۳- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۲۳/۸- درصد (کاهش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۱۲/۵- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۴/۶- درصد (کاهش) می‌باشد.

بیشترین تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۲۳/۴- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداقل مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۱۶/۳- درصد (کاهش) می‌باشد.

همچنین بررسی نتایج مدل NoerESM1-M در ارتباط با RCP8.5 نشان می‌دهد که بارندگی در تمامی دوره‌های آتی کاهش می‌یابد. بیشترین تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۴۰/۶- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و به میزان ۳۱/۲- درصد (کاهش) می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای حداکثر مربوط به

دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۵ و به میزان ۱۱/۹- درصد (کاهش) و کمترین میزان تغییرات دمای حداکثر مربوط به دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و به میزان ۳/۶- درصد (کاهش) می‌باشد.

اشکال (۶ تا ۱۱) نمودارهای مربوط به داده‌های استخراج شده دمای حداقل، حداکثر و بارندگی براساس مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES طی دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 پس از ریز مقیاس سازی توسط مدل CCT در سه بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۵، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد.

جداول (۱ و ۲) مقایسه تغییرات میانگین بارندگی، دمای حداکثر و حداقل مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES طی دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 پس از ریز مقیاس سازی توسط مدل CCT در سه بازه زمانی ۲۰۵۰-۲۰۲۵، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ با داده‌های مشاهداتی (۱۹۷۵-۲۰۱۸) را نشان می‌دهند.

۲-۳- نتایج آزمون من - کندال در دوره آتی

پس از اجرای مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES نتایج حاصل سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 و در دوره‌های آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۵، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ براساس آزمون من - کندال در جدول شماره (۳) ارائه شده است. با توجه به بررسی روند تغییرات بارش با استفاده از آزمون من - کندال، آزمون آماری Z هیچ روند معنی‌داری از مولفه بارش در هر سه مدل و در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ از خود نشان نداده است. مقایسه بین دوره آینده و پایه هر سه مدل اقلیمی در سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ در گزارش پنجم، یک روند منفی ولی معنی‌داری را تا آخر سال میلادی ۲۱۰۰ در حوزه آبخیز کرگانرود نشان نمی‌دهد. روند درجه حرارت حداکثر نشان می‌دهد که مدل اقلیمی MIROC و NoerESM1-M در سناریوی ۴/۵ در دوره‌های آتی افزایشی نشان داده ولی مدل اقلیمی HadGEM2-ES در دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ روند دمای حداکثر را کاهش نشان می‌دهد. همچنین در تمامی مدل‌ها در سناریوی ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آتی روند دمای حداکثر افزایشی و معنی‌دار و سطح اطمینان بالای ۹۰ درصد می‌باشد. با توجه به بررسی‌های انجام شده در مورد دمای حداقل نتایج آزمون من - کندال نشان داد که اکثر مدل‌ها در سناریوی ۴/۵ در دوره‌های آتی روند افزایشی داشته جز مدل HadGEM2-ES و مدل MIROC در دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ که دمای حداقل روند کاهشی داشته ولی معنی‌دار نیست. همچنین در تمامی مدل‌ها در سناریوی ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آتی روند دمای حداقل افزایشی و معنی‌دار و سطح اطمینان بالای ۹۵ درصد می‌باشد.

۳-۳- نتایج کارایی مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES

نتایج کارایی پیش‌بینی مولفه‌های بارش، دمای حداکثر و حداقل مدل‌های اقلیمی MIROC، NoerESM1-M و HadGEM2-ES با استفاده از مدل ریزمقیاس CCT در دوره‌های آتی و داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک بندر انزلی در جداول شماره (۴) و (۵) با استفاده از سه روش، ناش - ساتکلیف (NS)، ضریب همبستگی (R^2) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) نشان داده شده است.

در خصوص مولفه دمای حداکثر نتایج ضریب RMSE نشان داد که کمترین مقدار RMSE در سناریو ۴/۵ مربوط به مدل NoerESM1-M و به میزان ۰/۶۱ مربوط به دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و بیشترین مقدار RMSE در سناریو ۴/۵ مربوط به مدل MIROC و به میزان ۴/۲ مربوط به دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد. نتایج مولفه دمای حداکثر ضریب RMSE نشان داد که کمترین مقدار RMSE در سناریو ۸/۵ مربوط به مدل HadGEM2-ES و به میزان ۰/۹۶ مربوط به دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و بیشترین مقدار RMSE در سناریو ۸/۵ مربوط به مدل MIROC و به میزان ۴/۲ مربوط به دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد.

نتایج حاصل ضریب RMSE در خصوص مولفه دمای حداقل نشان داد که کمترین مقدار RMSE در سناریو ۴/۵ مربوط به مدل MIROC و به میزان ۱/۲ مربوط به دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و بیشترین مقدار RMSE در سناریو ۴/۵ مربوط به مدل NoerESM1-M و به میزان ۳/۵ مربوط به دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ می‌باشد. همچنین نتایج حاصله ضریب RMSE در خصوص مولفه دمای حداقل نشان داد که کمترین مقدار RMSE در سناریو ۴/۵ مربوط به مدل NoerESM1-M و به میزان ۱/۱ مربوط به دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و بیشترین مقدار RMSE در سناریو ۸/۵ مربوط به مدل NoerESM1-M و به میزان ۳/۵ مربوط به دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ می‌باشد.

نتایج حاصل RMSE در خصوص مولفه بارش نشان داد که کمترین مقدار RMSE در سناریو ۴/۵ مربوط به مدل MIROC و به میزان ۴۷/۴ مربوط به دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و بیشترین مقدار RMSE در سناریو ۴/۵ مربوط به مدل NoerESM1-M و به میزان ۷۶/۱ و مربوط به دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد. همچنین نتایج حاصل ضریب RMSE در خصوص مولفه بارش نشان داد که کمترین مقدار RMSE در سناریو ۸/۵ مربوط به مدل HadGEM2-ES و به میزان ۳۹/۷ و مربوط به دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و بیشترین مقدار RMSE در سناریو ۸/۵ مربوط به مدل NoerESM1-M و به میزان ۸۴/۲ مربوط به دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد.

نتایج بررسی خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه سازی شده بارش در سناریو ۴/۵ نشان داد که کمترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی NoerESM1-M و به میزان ۰/۷۳ و مربوط به دوره‌های آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و کمترین میزان R^2 مربوط به مدل اقلیمی HadGEM2-ES و به میزان ۰/۸۴ مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی HadGEM2-ES و مدل اقلیمی MIROC به میزان ۰/۸۹ مربوط به ترتیب مربوط به دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و ۲۰۷۵-۲۰۵۱ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان R^2 مربوط به مدل اقلیمی MIROC به میزان ۰/۹۸ مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ می‌باشد.

نتایج بررسی خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه سازی شده بارش در سناریو ۸/۵ نشان داد که کمترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی NoerESM1-M و به میزان ۰/۶۷ و مربوط به دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و کمترین میزان R^2 مربوط به مدل اقلیمی HadGEM2-ES و به میزان ۰/۸۴ مربوط به دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی HadGEM2-ES و به میزان ۰/۹۲ مربوط به دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان R^2 مربوط به مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES و NoerESM1-M به میزان ۰/۹۹ به ترتیب مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ و ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد.

نتایج بررسی خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه سازی دمای حداکثر در سناریو ۴/۵ نشان داد که کمترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی MIROC و به میزان ۰/۸۷ و مربوط به دوره‌های آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و کمترین میزان R^2 مربوط به مدل‌های اقلیمی MIROC و HadGEM2-ES و به میزان ۰/۹۸ و به ترتیب مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان R^2 مربوط به مدل اقلیمی MIROC به میزان ۰/۹۸ مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰ می‌باشد.

نتایج بررسی خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه سازی دمای حداکثر در سناریو ۸/۵ نشان داد که کمترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی MIROC و به میزان ۰/۸۷ و مربوط به دوره‌های آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و کمترین میزان R^2 مربوط به مدل اقلیمی MIROC به میزان ۰/۹۸ و مربوط به دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۰، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۰ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان ضریب NS مربوط به مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES و مدل اقلیمی NoerESM1-M به میزان ۰/۹۹

مربوط به دوره آتی ۲۰۵۱-۲۰۷۵ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان R^2 مربوط به مدل‌های اقلیمی HadGEM2-ES و مدل اقلیمی NoerESM1-M به میزان ۰/۹۹ مربوط به دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۷۵، ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد.

نتایج بررسی خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی دمای حداقل در سناریو ۴/۵ نشان داد که کمترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی NoerESM1-M به میزان ۰/۹۵ و مربوط به دوره‌های آتی ۲۰۵۰-۲۰۷۵ و کمترین و بیشترین میزان ضریب R^2 مربوط به مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES و به میزان ۰/۹۹ در تمامی دوره‌های آتی ۲۰۵۰-۲۰۷۵، ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ ثابت می‌باشد. همچنین بالاترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی MIROC به میزان ۰/۸۹ مربوط به ترتیب مربوط به دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و ۲۰۵۱-۲۰۷۵ می‌باشد. همچنین بالاترین میزان R^2 مربوط به مدل اقلیمی MIROC به میزان ۰/۹۹ مربوط به دوره آتی ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد.

نتایج بررسی خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی دمای حداقل در سناریو ۸/۵ نشان داد که کمترین میزان ضریب NS مربوط به مدل اقلیمی NoerESM1-M و به میزان ۰/۹۵ و مربوط به دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۷۵ و کمترین و بیشترین میزان ضریب R^2 مربوط به مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES و به میزان ۰/۹۹ در تمامی دوره‌های آتی ۲۰۵۰-۲۰۷۵، ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ ثابت می‌باشد. همچنین بالاترین میزان ضریب NS مربوط به مدل‌های اقلیمی MIROC و به میزان ۰/۹۹ و مربوط به دوره آتی ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و مدل اقلیمی NoerESM1-M به میزان ۰/۹۹ مربوط به دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ می‌باشد.

جدول (۱): میزان درصد تغییرات میانگین بارندگی، دمای حداکثر و حداقل RCP4.5

درصد تغییرات میانگین بارندگی، دمای حداکثر و حداقل RCP8.5										مشاهداتی ۲۰۱۸-۱۹۷۵	مؤلفه	نام مدل
۲۰۷۶-۲۱۰۰		۲۰۵۱-۲۰۷۵		۲۰۲۵-۲۰۵۰								
درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات	مقدار							
↓	۱۵/۸	۱۴۱۹/۶	↓	۲۳/۲	۱۲۹۴/۸	↓	۲۸/۳	۱۲۰۸/۸	۱۶۸۶/۵	بارندگی (mm)	HadGEM2-ES	
↑	۱۰/۹	۲۱/۳	↑	۳/۶	۱۹/۹	↓	۵/۷	۱۸/۱	۱۹/۲	دمای حداکثر (°C)		
↑	۸/۵	۱۵/۳	↓	۲/۸	۱۳/۷	↓	۱۴/۸	۱۲	۱۴/۱	دمای حداقل (°C)		
↓	۱۷/۷	۱۳۸۷/۹۵	↓	۲۳/۳۵	۱۲۹۲/۵۹	↓	۳۸/۷۳	۱۰۳۳/۱۷	۱۶۸۶/۵	بارندگی (mm)	MIROC	
↑	۳۴/۹	۲۵/۹	↑	۲۳/۴	۲۳/۷	↑	۱۵/۶	۲۲/۲	۱۹/۲	دمای حداکثر (°C)		
↑	۱۲/۷	۱۵/۹	↓	۰/۷	۱۴	↓	۱۲	۱۲/۴	۱۴/۱	دمای حداقل (°C)		
↓	۴۰/۶	۱۰۰۱/۷	↓	۳۶/۲	۱۰۷۵/۱	↓	۳۱/۲	۱۱۵۹/۵	۱۶۸۶/۵	بارندگی (mm)	NoerESM1-M	
↑	۴/۶	۲۰/۱	↓	۳/۶	۱۸/۵	↓	۱۱/۹	۱۶/۹	۱۹/۲	دمای حداکثر (°C)		
.	۵/۶	۱۳/۳	↓	۱۴/۱	۱۲/۱	↓	۲۳/۴	۱۰/۸	۱۴/۱	دمای حداقل (°C)		

جدول (۲): میزان درصد تغییرات میانگین بارندگی، دمای حداکثر و حداقل RCP8.5

درصد تغییرات میانگین بارندگی، دمای حداکثر و حداقل RCP8.5										مشاهداتی	مؤلفه	نام مدل
۲۰۷۵-۲۰۵۱		۲۰۵۰-۲۰۲۵		۲۰۷۵-۲۰۵۱		۲۰۵۰-۲۰۲۵		۲۰۱۸-۱۹۷۵				
درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات	مقدار	۲۰۱۸-۱۹۷۵		
↓	-۱۵/۸	۱۴۱۹/۶	↓	-۲۳/۲	۱۲۹۴/۸	↓	-۲۸/۳	۱۲۰۸/۸	۱۶۸۶/۵	۱۶۸۶/۵	بارندگی (mm)	HadGEM2-ES
↑	۱۰/۹	۲۱/۳	↑	۳/۶	۱۹/۹	↓	-۵/۷	۱۸/۱	۱۹/۲	۱۹/۲	دمای حداکثر (°C)	
↑	۸/۵	۱۵/۳	↓	-۲/۸	۱۳/۷	↓	-۱۴/۸	۱۲	۱۴/۱	۱۴/۱	دمای حداقل (°C)	
↓	-۱۷/۷	۱۳۸۷/۹۵	↓	-۲۳/۳۵	۱۲۹۲/۵۹	↓	-۳۸/۷۳	۱۰۳۳/۱۷	۱۶۸۶/۵	۱۶۸۶/۵	بارندگی (mm)	MIROC
↑	۳۴/۹	۲۵/۹	↑	۲۳/۴	۲۳/۷	↑	۱۵/۶	۲۲/۲	۱۹/۲	۱۹/۲	دمای حداکثر (°C)	
↑	۱۲/۷	۱۵/۹	↓	-۰/۷	۱۴	↓	-۱۲	۱۲/۴	۱۴/۱	۱۴/۱	دمای حداقل (°C)	
↓	-۴۰/۶	۱۰۰۱/۷	↓	-۳۶/۲	۱۰۷۵/۱	↓	-۳۱/۲	۱۱۵۹/۵	۱۶۸۶/۵	۱۶۸۶/۵	بارندگی (mm)	NoerESM1-M
↑	۴/۶	۲۰/۱	↓	-۳/۶	۱۸/۵	↓	-۱۱/۹	۱۶/۹	۱۹/۲	۱۹/۲	دمای حداکثر (°C)	
↓	-۵/۶	۱۳/۳	↓	-۱۴/۱	۱۲/۱	↓	-۲۳/۴	۱۰/۸	۱۴/۱	۱۴/۱	دمای حداقل (°C)	

جدول (۳): نتایج آزمون من - کندال تحت سناریو RCP4.5 و RCP8.5

نتایج حاصل از آزمون من - کندال RCP8.5						نتایج حاصل از آزمون من - کندال RCP4.5						مؤلفه	نام مدل
۲۰۷۵-۲۰۵۱		۲۰۵۰-۲۰۲۵		۲۰۷۵-۲۰۵۱		۲۰۵۰-۲۰۲۵		۲۰۷۵-۲۰۵۱		۲۰۵۰-۲۰۲۵			
Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S	Z	S		
۱/۷۶	+	۰/۰۲	-	-۰/۱۳	-	-۰/۶۷	-	۰/۹۶	-	۰/۶۶	-	بارندگی (mm)	HadGEM2-ES
-۰/۵۲	-	۳/۴۸	***	۲/۳۴	*	۰/۱۷	-	۲/۴۱	*	۱/۸۱	+	دمای حداکثر (°C)	
۲/۶۵	**	۴/۲۷	***	۱/۸۵	+	-۰/۳۲	-	۲/۵	*	۰/۹۳	-	دمای حداقل (°C)	
-۰/۲۷	-	۰/۴۴	-	-۰/۰۴	-	۱/۰۲	-	-۰/۶۸	-	-۰/۸۸	-	بارندگی (mm)	MIROC
۳/۱۵	**	۱/۹۴	+	۳/۲۲	**	۰/۹۷	-	۲/۸۷	**	۲/۰۳	*	دمای حداکثر (°C)	
۴/۱۴	***	۳/۵۷	***	۲/۹۵	**	-۰/۱۷	-	۲/۰۸	*	۲/۴۲	*	دمای حداقل (°C)	
-۰/۶۲	-	۰/۸۶	-	-۰/۷۵	-	۱/۳۱	-	-۱/۶۱	-	۰/۲۲	-	بارندگی (mm)	NoerESM1-M
۲/۵۱	*	۴/۰۴	***	۲/۶۹	**	-۰/۱۲	-	۱/۶۶	+	۰/۴۸	-	دمای حداکثر (°C)	
۴/۴	***	۴/۶	***	۳/۶۱	***	۱/۹۱	+	-۰/۶۳	-	۱/۵۴	-	دمای حداقل (°C)	

(-): روند منفی ولی معنی دار نیست.

(+): روند مثبت ولی معنی دار نیست.

(*): سطح اطمینان ۹۰٪ و معنی دار است.

(**): سطح اطمینان ۹۵٪ و معنی دار است.

(***): سطح اطمینان ۹۹٪ و معنی دار است.

جدول (۴): نتایج خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده متغیرهای هواشناسی RCP4.5

خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده متغیرهای هواشناسی RCP4.5									مؤلفه	نام مدل
۲۰۷۶-۲۱۰۰			۲۰۵۱-۲۰۷۵			۲۰۲۵-۲۰۵۰				
NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²		
۰/۸۹	۴۸/۵	۰/۸۹	۰/۸۶	۵۳/۵	۰/۸۴	۰/۸۴	۵۷/۸	۰/۸۶	بارندگی (mm)	HadGEM2-ES
۰/۹۹	۰/۶۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۶	۰/۹۸	دمای حداکثر (°C)	
۰/۹۸	۱/۶	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۲/۹	۰/۹۹	دمای حداقل (°C)	
۰/۸۷	۵۱/۴	۰/۹	۰/۸۹	۴۷/۴	۰/۹۴	۰/۸۷	۵۲/۶	۰/۹۸	بارندگی (mm)	MIROC
۰/۸۷	۴/۲	۰/۹۸	۰/۹۱	۳/۵	۰/۹۸	۰/۹۵	۲/۵	۰/۹۸	دمای حداکثر (°C)	
۰/۹۹	۱/۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۲/۱	۰/۹۹	دمای حداقل (°C)	
۰/۷۳	۷۶/۱	۰/۸۶	۰/۷۳	۷۵/۳	۰/۸۶	۰/۷۹	۶۶/۹	۰/۸۶	بارندگی (mm)	NoerESM1-M
۰/۹۸	۱/۴	۰/۹۹	۰/۹۷	۱/۸	۰/۹۹	۰/۹۵	۲/۵	۰/۹۹	دمای حداکثر (°C)	
۰/۹۷	۲/۶	۰/۹۹	۰/۹۶	۳/۱	۰/۹۹	۰/۹۵	۳/۵	۰/۹۹	دمای حداقل (°C)	

جدول (۵): نتایج خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده متغیرهای هواشناسی RCP8.5

خطای بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده متغیرهای هواشناسی RCP8.5									مؤلفه	نام مدل
۲۰۷۶-۲۱۰۰			۲۰۵۱-۲۰۷۵			۲۰۲۵-۲۰۵۰				
NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²		
۰/۹۲	۳۹/۷	۰/۸۸	۰/۸۷	۵۲/۳	۰/۸۴	۰/۸۴	۵۷/۱	۰/۹۴	بارندگی (mm)	HadGEM2-ES
۰/۹۶	۲/۲	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۸	۱/۲	۰/۹۹	دمای حداکثر (°C)	
۰/۹۸	۱/۶	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۲	۰/۹۹	۰/۹۷	۲/۵	۰/۹۹	دمای حداقل (°C)	
۰/۸۷	۵۱/۴	۰/۹	۰/۸۹	۴۷/۴	۰/۹۴	۰/۸۷	۵۲/۶	۰/۹۸	بارندگی (mm)	MIROC
۰/۸۷	۴/۲	۰/۹۸	۰/۹۱	۳/۵	۰/۹۸	۰/۹۵	۲/۵	۰/۹۸	دمای حداکثر (°C)	
۰/۹۹	۱/۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۲	۰/۹۹	۰/۹۸	۲/۱	۰/۹۹	دمای حداقل (°C)	
۰/۶۷	۸۴/۲	۰/۹۴	۰/۷۳	۷۶	۰/۹۴	۰/۷۹	۶۷/۱	۰/۸۷	بارندگی (mm)	NoerESM1-M
۰/۹۸	۱/۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۱/۱	۰/۹۹	۰/۹۵	۲/۴	۰/۹۹	دمای حداکثر (°C)	
۰/۹۹	۱/۱	۰/۹۹	۰/۹۷	۲/۲	۰/۹۹	۰/۹۵	۳/۵	۰/۹۹	دمای حداقل (°C)	

۴- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که مقایسه تغییرات داده‌های دمای آبی منطقه با استفاده از مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES با دوره مشاهداتی با توجه به آزمون من - کندال، تصادفی نبوده و علاوه بر همبستگی، روند معنی-دار از خود نشان دادند که بیشترین سطح معنی‌داری به ترتیب مربوط به دمای حداکثر ($Z=۴/۰۴$) و دمای حداقل ($Z=۴/۶$) در سطح اطمینان بالای ۹۵ درصد در مدل اقلیمی NoerESM1-M و در دوره آبی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ تحت سناریوی RCP8.5 و میزان آن افزایشی می‌باشد. علی‌رغم کاهش روند میزان بارش براساس نتایج آزمون من - کندال، نتایج بارش دارای سطح معنی‌داری نبوده زیرا دما به طور کلی ضریب تغییرات کمتری دارد ولی بارش عنصر اقلیمی تغییرپذیرتری است و ضریب تغییرات آن بالاتر و مقدار آن در یک حوضه تحت تاثیر عوامل مختلفی می‌باشد. در نتیجه داده‌های دما همبستگی بهتری در مقایسه با داده‌های بارش در دوره‌های آبی داشتند. نتایج درصد تغییرات میانگین بارش با داده‌های مشاهداتی در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آبی و در هر سه مدل اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES کاهش می‌باشد. نتایج ضرایب NS و R² نشان داد که در هر سه مدل اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES و در هر دو سناریو ۴/۵ و ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آبی و در مولفه‌های بارش، دمای حداکثر و حداقل کارایی مناسبی دارند که با نتایج محمدعلیزاده فرد و

همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. همچنین نتایج RMSE در خصوص مولفه بارش نشان داد که مدل اقلیمی MIROC در هر دو سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آتی کارایی بهتری نسبت به مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M و HadGEM2-ES دارد که با نتایج کوهستانی و همکاران (۱۳۹۶) نتایج بدست آمده مطابقت دارد. ولی نتایج مربوط به ضریب RMSE در خصوص مولفه‌های دمای حداکثر و حداقل نشان داد که مدل اقلیمی HadGEM2-ES در هر دو سناریوی ۴/۵ و ۸/۵ و در تمامی دوره‌های آتی در مجموع کارایی بهتری نسبت به مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M و MIROC دارد. بطور کلی آنالیز روند تغییرات دما و بارش نشان داد که اقلیم منطقه در حال تغییر بوده و روند کاهش بارش، افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری می‌کند که با نتایج نادری و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. هدف و نوآوری این مطالعه به منظور ارزیابی مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES با استفاده از جعبه ابزار CCT بود. با توجه به امکانات و توانایی‌هایی که این بسته نرم افزاری در اختیار پژوهشگران قرار می‌دهد و نیز با ارزیابی‌های انجام شده در مورد صحت و دقت شبیه‌سازی‌های انجام شده در این تحقیق، ابزاری بسیار کارآمد همراه با دقت مناسب برای انجام پژوهش‌های تغییر اقلیم و تحلیل‌های مربوط به دوره‌های ترسالی و خشکسالی به نظر می‌رسد. مضاف بر این که در منطقه مورد مطالعه تا کنون مدل‌های اقلیمی NoerESM1-M، MIROC و HadGEM2-ES با استفاده از جعبه ابزار CCT و انجام ریز مقیاس‌سازی نتایج و مقایسه این نتایج تاکنون صورت نگرفته است. با توجه به اینکه در این مطالعه نشان داده شد که در RCP8.5 مدل MIROC بارندگی‌های منطقه از فصول پاییز و زمستان بیشتر به سمت اواخر فصول تابستان و اوایل پاییز به وقوع خواهد پیوست. لذا وقوع بارندگی و افزایش آن در زمان‌های یاد شده با عنایت به اینکه پوشش گیاهی در اواخر فصول تابستان و اوایل پاییز به کمترین میزان خواهد رسید، امکان وقوع سیلاب‌های پرخطر فزونی خواهد یافت. نتایج حاصل قطعاً در امر مدیریتی و برنامه‌ریزی محیط زیستی و منابع طبیعی حوضه مورد مطالعه به لحاظ تغییرات کاربری اراضی و جلوگیری از تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی زراعی و مسکونی و برآورد سیلاب و وقوع سیلاب‌های مخاطره‌آمیز در انتهای فصل تابستان و ابتدای فصل پاییز مفید خواهد بود. همچنین با توجه به تغییرات جدی بارش و افزایش آن در اواخر فصل تابستان و اوایل فصل پاییز در سناریو ۸/۵ می‌توان نسبت به احتمال وقوع سیل‌های مخرب در این حوضه که در بالادست شهرستان هشترپ می‌باشد ما را آگاه نموده و مدیران و کارشناسان منابع طبیعی را نسبت به تغییرات کاربری اراضی منطقه در جهت حفظ اراضی جنگلی حوزه آبخیز گرگانرود را بیشتر حساس نماید.

منابع

- کوهستانی، شاپور. اسلامیان، سید سعید. بسالت پور، علی اصغر. ۱۳۹۶. تاثیر تغییر اقلیم بر درجه حرارت حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از محاسبات نرم‌یادگیری ماشینی بیزین. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). سال بیست و یک. شماره یک. بهار ۱۳۹۶. ص ۲۱۶-۲۰۳.
- محمدعلیزاده فرد، الهام. میرموسوی، سید حسین. یاراحمدی، جمشید. فرجی، عبدالله. ارزیابی اثر تغییر اقلیم در مناطق فاقد آمار مشاهداتی با استفاده از بسته نرم‌افزاری CCT (مطالعه موردی: حوضه دریان). ۱۳۹۹. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۲۴. شماره ۷۳. پاییز ۱۳۹۹. ص ۳۲۳-۳۰۵.
- مدرسی، فرشته. عراقی نژاد، شهاب. ابراهیمی، کیومرث. خلقی، مجید. ۱۳۸۹. بررسی منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آمار مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود - قره سو. نشریه آب و خاک. جلد ۲۴. شماره ۳. ص ۴۸۹-۳۷۸.
- نادری، سمیه. علیجانی، بهلول. حجازی زاده، زهرا. عباسپور، کریم. حیدری، حسن. ۱۳۹۸. آنالیز الگوهای دما و بارش در آینده با استفاده از CCT (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دریاچه ارومیه). کنفرانس بین‌المللی تغییر اقلیم، پیامدهای سازگاری و تعدیل. ایران. تهران. دانشگاه خوارزمی. ۲۱ خرداد ماه ۱۳۹۸.

Afshar, A. A., Y. Hasanzadeh, A. Besalatpour, and M. Pourreza-Bilondi, 2017, Climate change forecasting in a mountainous data scarce watershed using CMIP5 models under representative concentration pathways: *Theoretical and applied climatology*, v. 129, p. 683-699.

Ahmed, K. F., G. Wang, J. Silander, A. M. Wilson, J. M. Allen, R. Horton, and R. Anyah, 2013, Statistical downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the US northeast: *Global and Planetary Change*, v. 100, p. 320-332.

Akurut, M., P. Willems, and C. B. Niwagaba, 2014, Potential impacts of climate change on precipitation over Lake Victoria, East Africa, in the 21st Century: *Water*, v. 6, p. 2634-2659.

Chartzoulakis, K., and G. Psarras, 2005, Global change effects on crop photosynthesis and production in Mediterranean: the case of Crete, Greece: *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 106, p. 147-157.

Chong-Hai, X., and X. Ying, 2012, The projection of temperature and precipitation over China under RCP scenarios using a CMIP5 multi-model ensemble: *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, v. 5, p. 527-533.

Kalcic, M. M., I. Chaubey, and J. Frankenberger, 2015, Defining Soil and Water Assessment Tool (SWAT) hydrologic response units (HRUs) by field boundaries: *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, p. 69-80.

Lane, M. E., P. H. Kirshen, and R. M. Vogel, 1999, Indicators of impacts of global climate change on US water resources: *Journal of Water Resources Planning and Management*, v. 125, p. 194-204.

Masood, M., P. J. Yeh, N. Hanasaki, and K. Takeuchi, 2015, Model study of the impacts of future climate change on the hydrology of Ganges-Brahmaputra-Meghna basin: *Hydrology and Earth System Sciences*, v. 19, p. 747.

Pirnia, A., M. Golshan, H. Darabi, J. Adamowski, and S. Rozbeh, 2019, Using the Mann-Kendall test and double mass curve method to explore stream flow changes in response to climate and human activities: *Journal of Water and Climate Change*, v. 10, p. 725-742.

Teutschbein, C., and J. Seibert, 2012, Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods: *Journal of hydrology*, v. 456, p. 12-29.

Tolika, K., C. Anagnostopoulou, P. Maheras, and M. Vafiadis, 2008, Simulation of future changes in extreme rainfall and temperature conditions over the Greek area: a comparison of two statistical downscaling approaches: *Global and Planetary Change*, v. 63, p. 132-151.

Um, M.-J., J.-H. Heo, and N.-W. Kim, 2016, Spatio-temporal variations of precipitation considering the orographic effects on Jeju Island: *Atmospheric Research*, v. 181, p. 236-249.

Vaghefi, S. A., N. Abbaspour, B. Kamali, and K. C. Abbaspour, 2017, A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions—Case study: California-Baja California Peninsula: *Environmental modelling & software*, v. 96, p. 181-198.

Vaghefi, S. A., N. Abbaspour, B. Kamali, and K. C. Abbaspour, 2017, A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions—Case study: California-Baja California Peninsula: *Environmental modelling & software*, v. 96, p. 181-198.

Vaghefi, S. A., M. Keykhai, F. Jahanbakhshi, J. Sheikholeslami, A. Ahmadi, H. Yang, and K. C. Abbaspour, 2019, The future of extreme climate in Iran: *Scientific reports*, v. 9, p. 1-11.

van Vuuren, D. P., and T. R. Carter, 2014, Climate and socio-economic scenarios for climate change research and assessment: reconciling the new with the old: *Climatic Change*, v. 122, p. 415-429.

Van Vuuren, D. P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, and J.-F. Lamarque, 2011, The representative concentration pathways: an overview: *Climatic change*, v. 109, p. 5.

Wang, R., Q. Cheng, L. Liu, C. Yan, and G. Huang, 2019, Multi-model projections of climate change in different RCP scenarios in an arid inland region, Northwest China: *Water*, v. 11, p. 347.

Zarenistanak, M., A. G. Dhorde, and R. Kripalani, 2014, Trend analysis and change point detection of annual and seasonal precipitation and temperature series over southwest Iran: *Journal of earth system science*, v. 123, p. 281-295.