

تغییرات فصلی بارش و درجه حرارت حوضه آبخیز کشف رود در دوره‌های آتی با رویکرد مدل‌های گردش کلیسری CMIP5

امیرحسین آقاخانی افشار^{۱*} - یوسف حسن زاده^۲ - علی اصغر بسالت پور^۳ - محسن پوررضا بیلندی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۰۷

چکیده

چرخه هیدرولوژی در حوضه رودخانه‌ها و منابع آب قابل دسترس در مناطق خشک و نیمه خشک جهان به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیم و افزایش بیش از حد انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار دارند؛ به گونه‌ای که در سال‌های اخیر، افزایش درجه حرارت ناشی از انتشار بیش از حد گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد یک ناهنجاری در سیستم اقلیم کره زمین گردیده است. هدف از این تحقیق بررسی فصلی روند تغییرات آتی مؤلفه‌های اقلیمی در یکی از بزرگترین حوضه‌های کوهستانی شمال شرقی ایران (حوضه آبخیز کشف رود) با استفاده از برون‌داد مدل‌های گردش کلیسری CMIP5 و تحت سناریوهای جدید انتشار RCP می‌باشد. در این تحقیق با در نظر گرفتن دو پارامتر بارش و درجه حرارت به عنوان مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی در حوضه‌های آبخیز، چهارده مدل از بین مدل‌های CMIP5 انتخاب گردید. در دوره تاریخی (۱۳۸۴-۱۳۷۱)، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی و با استفاده از چهار معیار ارزیابی شامل: ضریب ناش-ساتکلیف، درصد اریبی، ضریب تعیین و نسبت جذر ریشه مربعات خطا به انحراف معیار استاندارد داده‌های مشاهداتی، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. در نهایت، چهار مدل اقلیمی به نام‌های GFDL-ESM2G، IPSL-CM5A-MR، MIROC-ESM و NorESM1-M که براساس معیارهای ارزیابی بیشترین انطباق را با داده‌های مشاهداتی از خود نشان دادند، انتخاب گردید. علاوه بر این، تغییرات اقلیم آینده توسط چهار سناریوی جدید انتشار (RCPs) به نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 و تحت سه بازه زمانی آینده نزدیک (۱۳۸۵-۱۳۹۶)، آینده متوسط (۱۳۹۶-۱۴۱۶) و آینده دور (۱۳۹۹-۱۴۴۹) در این چهار مدل مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. به منظور بررسی روند تغییرات سالانه و فصلی مؤلفه‌های اقلیمی از آزمون غیرپارامتری من-کندال استفاده گردید. نتایج حاصل از آزمون من-کندال، نشان داد که مؤلفه بارش، از یک روند مثبت و منفی که از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد، پیروی می‌کند. همچنین درجه حرارت متوسط نیز یک روند مثبت معنی‌دار با سطوح اعتماد ۹۰، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد را از خود نشان داد. بیشترین و کمترین بارش‌ها در فصل‌های بهار و تابستان رخ خواهد داد و درجه حرارت متوسط در تمامی فصول سال بیشتر از دوره پایه (تاریخی) می‌باشد. همچنین، به طور متوسط در تمامی مدل‌ها و سناریوها، بیشترین و کمترین درجه حرارت متوسط نیز در فصل‌های تابستان و زمستان حاصل خواهد شد و به تبع آن میزان بارش‌های فصلی نیز در این فصول به ترتیب کاهش و افزایش خواهد یافت.

واژه‌های کلیدی: آزمون من-کندال، تغییر اقلیم، سناریوی انتشار، گازهای گلخانه‌ای، گزارش ارزیابی پنجم

مقدمه

اقلیم تأثیرات چشمگیری در چرخه هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب داشته است (۸). شواهد قوی نشان می‌دهند که افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب تغییر نوسانات و روند کمیت‌های هیدرواقلمی می‌گردد (۲۰ و ۲۵). امروزه به دلیل افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی احتمالاً تأثیرات چشمگیری در میزان بارش و فرآیندهای رواناب و منابع آبی داشته است (۵ و ۲۱). به عنوان مثال در قرن گذشته، میانگین درجه حرارت جهانی ۰/۸۵ درجه سلسیوس افزایش یافته است (۷). بنابراین بارش به عنوان یک عامل کلیدی در تغییر در فرکانس و دامنه چرخه هیدرولوژیکی، عواقب جدی در

اخیراً، آگاهی از اثرات تغییر اقلیم در نتیجه فعالیت‌های انسانی دو چندان شده است. براساس گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، تغییر

۱ و ۲- دانشجوی دکتری عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی و استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز
(^{*}نویسنده مسئول: Email: a.h.aghakhani@tabrizu.ac.ir)
۳- استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولیعصر رفسنجان (ع)
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

عمدتاً توسط بارندگی کم و درجه حرارت بالا شناخته شده است. ناهنجاری‌ها در درجه حرارت و بارش در ایران نقش مهمی در صنعت کشاورزی و توسعه سریع کشور 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. برخی از مطالعات در رابطه با بررسی تغییرات اقلیمی بر روی حوضه‌های آبخیز ایران و تأثیرات آن بر روی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی در این مناطق در دوره‌های اخیر و آتی بر اساس مدل‌های ارزیابی گزارش چهارم (CMIP3) انجام پذیرفته است که دارای قدرت تفکیک پذیری پائین و از سناریوهای انتشار قدیمی‌تر نسبت به گزارش پنجم (CMIP5) استفاده می‌نماید (۲، ۹ و ۲۷). بنابراین به نظر می‌رسد که مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌های آبخیز ایران توسط مدل‌های اقلیمی با وضوح بالا و به ویژه توسط مدل‌های CMIP5 امری ضروری به نظر می‌رسد. به طوریکه مدل‌های فوق درکی بهتر از این مناطق در دوره‌های زمانی آتی نسبت به مدل‌های پیشین برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب فراهم می‌نماید. بنابراین دو هدف کلی در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف اول این تحقیق تجزیه و تحلیل روند تغییرات فصلی دو مؤلفه اصلی بارش و درجه حرارت در سرتاسر حوضه آبخیز کشف رود براساس مدل‌های سری CMIP5 با استفاده از روش آزمون غیرپارامتری من-کندال می‌باشد. هدف دوم این تحقیق نیز، مقایسه نتایج مدل‌های گزارش پنجم با یکدیگر و تعیین تغییرات در میزان بارش و درجه حرارت در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه (تاریخی) در مقیاس فصلی و ماهانه در تمام نقاط این حوضه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی در این تحقیق حوضه آبخیز کشف رود می‌باشد که در بخش شمال شرقی ایران و در استان خراسان رضوی واقع شده است. کشف رود به عنوان یکی از بزرگترین حوضه‌های آبخیز در خراسان رضوی با مساحت ۱۶۸۷۰ کیلومتر مربع و رودخانه کشف رود طولانی‌ترین رودخانه این حوضه محسوب می‌شود. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، کشف رود در عرض جغرافیایی ۳۵°۳۵' تا ۳۷°۰۷' و طول جغرافیایی ۵۸°۱۵' تا ۶۱°۱۳' واقع شده است. حوضه فوق دارای اقلیم سرد و نیمه خشک با بارش‌های سالانه کم و تبخیر و تعرق بالا می‌باشد. اغلب بارش‌های این حوضه (۵۰ تا ۷۰ درصد از کل بارش) در بین ماه‌های دی تا اردیبهشت اتفاق می‌افتد. میانگین بارش سالانه حوضه تقریباً برابر ۳۴۰/۱ میلی‌متر و با نوسانات قابل توجه می‌باشد. همچنین میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه نیز به ترتیب برابر ۲۰/۶ و ۷/۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. لذا تمرکز بر روی تغییرات اقلیم در این منطقه در دوره‌های زمانی گذشته و حال حاضر و نیز در

تحولات اجتماعی، اقتصادی و کشاورزی می‌تواند داشته باشد (۱۹). در نتیجه، میانگین متغیرهای اقلیمی به خصوص مؤلفه‌های درجه حرارت و بارش در مقیاس سالانه یا فصلی، نقش غالبی را در چرخه هیدرولوژی بازی نموده و معمولاً به عنوان یک شاخص برای ارزیابی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، ارزیابی کمیت‌های بارش و درجه حرارت تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، ضروری به نظر می‌رسد که این مؤلفه‌ها ذاتاً از یک عدم اطمینان برخوردار بوده و اغلب تصمیم‌گیرندگان استنباط آن‌ها را سخت می‌دانند (۲۲). در دهه‌های اخیر، ارزیابی طرح‌های آینده‌ای از این مؤلفه‌های توسط مدل‌های جهانی اقلیم صورت پذیرفته است (۸). مدل‌های گردش کلی جو^۱ به عنوان مدل‌های عددی که فرآیندهای فیزیکی جو را نشان می‌دهند، می‌توانند اقلیم حاضر را شبیه‌سازی و شرایط اقلیم آینده را تحت سناریوهای مختلف، پیش‌بینی نمایند (۶ و ۱۶). نسل جدیدی از مدل‌های گردش کلی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده گردید، تحت عنوان پروژه دورن مقایسه‌ای مدل‌های جفت شده^۲ شناخته شده است. مجموعه‌ای از آزمایشات نظیر شبیه‌سازی‌های قرن بیستم و پروژه‌های اقلیمی قرن ۲۱ تحت سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای^۳، مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند (۱۸). ماس و همکاران نشان دادند که خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای، مسیرهای انتشار را براساس تصمیمات سیاسی متفاوت فرض شده‌ای که بر تحولات زمانی انتشار آینده گازهای گلخانه‌ای، ذرات معلق در هوا، ازن، کاربری اراضی و تغییرات پوشش زمین تأثیر می‌گذارد، تولید می‌کند (۱۸). تمام مطالعات پیشین در رابطه با بررسی پدیده تغییر اقلیم، عمده‌تاً براساس مدل‌های سری CMIP3 مبتنی بر گزارش چهارم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم انجام پذیرفته است (۱۰، ۱۳ و ۲۸). در حالیکه اخیراً تمام پژوهشگران در سرتاسر جهان با استفاده از مدل‌های سری CMIP5 مبتنی بر گزارش ارزیابی پنجم به بررسی تغییرات اقلیم آتی تحت سناریوهای جدید انتشار در مناطق مختلف پرداخته‌اند (۴، ۱۱ و ۱۴). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم تغییرات گسترده‌ای در اقلیم سراسر شرق خاورمیانه را پیش‌بینی نموده است (۸). افزایش درجه حرارت در نتیجه تقاضای بالای تبخیر و تعرق همراه با کاهش قابل توجه بارش پیش‌بینی شده است که منابع آب در این مناطق را به شدت تحت تنش قرار می‌دهد (۲۳). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم بیان می‌دارد که منابع آب قابل دسترس در منطقه خاورمیانه تحت اثر تغییرات اقلیمی، در وضعیت هشدار دهنده‌ای قرار دارند (۸). ایران در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده است و

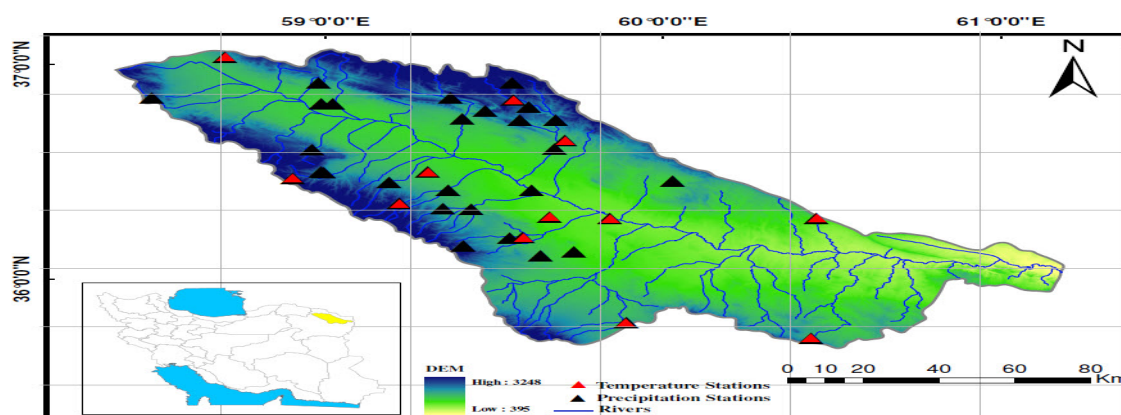
1- General Circulation Model

2- Coupled Model Intercomparison Phase 5, CMIP5

3- Representative Concentration Pathway, RCP

سازمان هواشناسی ایران بدست آمده است. برای تجزیه و تحلیل دوره پایه (تاریخی)، کمتر از ۱۰ درصد ایستگاه‌ها دارای داده مشاهده شده مفقود می‌باشند. بنابراین، مجموعه داده‌ها کمترین اثر را بر روی نتایج خواهند داشت.

بازه‌های زمانی آینده حائز اهمیت می‌باشد. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های مشاهده‌ای (باران‌سنجی و دماسنجی) برای دوره زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۴ در شکل ۱ نشان داده شده است. در این تحقیق، داده‌های مشاهده‌ای روزانه برای ایستگاه‌های موجود در منطقه، از



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز کشف رود و ایستگاه‌های مشاهده‌ای.
Figure 1- Location of kashafrood watershed basin and observed stations.

اطلاعات کلی هر یک از ۱۴ مدل به همراه مؤسسات تحقیقاتی آن‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

شصت و یک مدل اقلیمی به منظور شبیه‌سازی دوره‌های زمانی پایه و آینده در گزارش پنجم هیأت بین الدول تغییر اقلیم بکار رفته است که از بین آنها، ۱۴ مدل برای تحقیق حاضر انتخاب گردید.

جدول ۱- مشخصات بر خیمدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه CMIP5.
Table 1- Properties of models and Preparation CMIP5 Project Institute.

مدل Model	مؤسسات تحقیقاتی تدوین کننده مدل‌ها Institute Preparation Models
HadGEM2-ES	MOHC, Met Office Hadley Center, UK
GFDL-CM3	NOAA, Geophysical Fluid Dynamics Laboratory, USA
GFDL-ESM2M	
GFDL-ESM2G	
MIROC5	
MIROC-ESM	MIROC, Center for Climate System Research, Japan
MIROC-ESM-CHEM	IPSL, Institute Pierre Simon Laplace, France
IPSL-CM5A-LR	
IPSL-CM5A-MR	NCC, Norwegian Climate Center, Norway
NorESM1-M	
BCC-CSM1.1	BCC, Beijing Climate Center, China
CSIRO-Mk3.6.0	CSIRO, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia
CCSM4	NCAR, National Center for Atmospheric Research, USA
CESM1(CAM5)	NSF-DOE-NCAR, Community Earth System Model Contributors

شده‌اند. این سناریوها شامل چهار سناریو با نام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند (۲۴). به عنوان مثال در RCP2.6 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 و در سال ۲۱۰۰ به ۲/۶ وات بر متر مربع می‌رسد. سناریوی RCP4.5، یک سناریوی ثابت با افزایش نیروی واداشت تابشی کل تا

بر خلاف گزارش ویژه سناریوهای انتشار^۱ استفاده شده در مدل‌های CMIP3، گزارش ارزیابی پنجم از سناریوهای نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌کند که در جدول ۲ اطلاعات آن‌ها ارائه شده است. سناریوهای جدید انتشار بر اساس سطح واداشت تابشی تا سال ۱۴۷۹ شمسی (۲۱۰۰ میلادی) بنا نهاده

1- Special Report on Emission Scenario, SRES

۱۹۶۰ تا دسامبر ۲۰۰۵ میلادی به عنوان دوره تاریخی و از اول ژانویه ۲۰۰۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۱۰۰ میلادی برای سناریوهای انتشار آینده در نظر گرفته شده‌اند). در این مقاله چشم‌انداز آبی در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۱۳۸۵ تا ۱۴۱۴ شمسی و معادل ۲۰۰۶ تا ۲۰۳۵ میلادی)، متوسط (۱۴۱۵ تا ۱۴۴۴ شمسی و معادل ۲۰۳۶ تا ۲۰۶۵ میلادی) و دور (۱۴۴۵ تا ۱۴۷۴ شمسی و معادل ۲۰۶۶ تا ۲۰۹۵ میلادی) در مقایسه با دوره پایه (۱۳۷۱ تا ۱۳۸۴ شمسی و معادل ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۵ میلادی) صورت پذیرفت.

سال ۲۰۷۰ میلادی و با غلظت‌های پایدار بعد از سال ۲۰۷۰ میلادی می‌باشد. در سناریوی RCP6.0 واداشت‌تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند. در این سناریو به دلیل رشد پائین جمعیت و رشد تکنولوژی‌های جدید، به طور کلی میزان استفاده از انرژی و سوخت‌های فسیلی کمتر از سایر سناریوها در نظر گرفته شده است. همچنین سناریوی RCP8.5، به طور مداوم در حال افزایش نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ و تقریباً برابر ۸/۵ وات بر متر مربع می‌باشد (۲۶) (شایان ذکر است که داده‌های اقلیمی از اول ژانویه

جدول ۲- چهار سناریوی انتشار: نماینده خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای (۲۴)

Table 2- Four Emission Scenario: Representative Concentration Pathway in Various Greenhouse Gases (24)

سناریو Scenario	واداشت تابشی Radiative Forcing	غلظت دی اکسید کربن (قسمت در میلیون) Co2 (ppm)
RCP2.6	حداکثر مقدار آن ۳ وات بر متر مربع و سپس کاهش می‌یابد Peak in radiative forcing at 3 W/m2 and then decline	۴۹۰ قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد 490 ppm CO2 equivalent before 2100 and then decline
RCP4.5	۴/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند Stabilization without overshoot pathway to 4.5 W/m2 after 2100	۶۵۰ و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند 650 ppm CO2 equivalent at stabilization after 2100
RCP6.0	۶/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند Stabilization without overshoot pathway to 6 W/m2 after 2100	۸۵۰ و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند 850 ppm CO2 equivalent stabilization after 2100
RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ Rising radiative forcing pathway leading to 8.5 W/m2 by 2100	۱۳۷۰ تا سال ۲۱۰۰ 1370 ppm CO2 equivalent by 2100

منطقه‌ای) انجام می‌پذیرد و در مرحله سوم خروجی‌ها با مقیاس‌های ماهانه به مقیاس زمانی روزانه به طور موقت جداسازی می‌گردند. در این تحقیق به منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش و درجه حرارت از روش جداسازی فضایی تصحیح اریبی استفاده گردید (۳). بنابراین، تمامی خروجی‌های ۱۴ مدل CMIP5 با استفاده از این تکنیک به شبکه‌هایی با قدرت تفکیک‌پذیری ۰/۵ درجه به منظور مقایسه دقیق بین داده‌های شبیه‌سازی و مشاهداتی، ریزمقیاس گردیدند. پس از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی، با توجه به مختصات ایستگاه‌های مشاهداتی (شامل ۳۴ ایستگاه باران‌سنجی و ۱۲ ایستگاه دماسنجی) در گام نخست، با استفاده از نرم افزار ArcGIS داده‌های تاریخی چهار ایستگاه در مجاورت هر یک از ایستگاه‌های مرجع (ایستگاه‌های مشاهداتی) با فواصل نیم درجه استخراج گردید. در گام دوم، اطلاعات تاریخی ایستگاه‌های مرجع و با در اختیار داشتن اطلاعات چهار ایستگاه اطراف آن‌ها به کمک روش‌های درون‌یابی نظیر روش درون‌یابی خطی و فاصله وزنی معکوس، حاصل گردید و در گام نهایی، با استفاده از میانگین‌گیری به روش چندضلعی تیسن به صورت وزن‌دهی مکانی-مساحتی برای داده‌های بارش به عنوان مهم‌ترین مؤلفه در بررسی موضوعات اقلیمی، مدل‌های CMIP5 و داده‌های مشاهداتی با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب ناش-ساتکلیف (NS)،

مدل‌های گردش کلی جو یک فرصت مناسب را برای برآورد چشم‌انداز اقلیم آینده تحت خطوط سیر واداشت تابشی مختلف فراهم می‌آورند. این مدل‌ها دارای وضوح نسبتاً پائین (تفکیک‌پذیری درشت) بوده و برای مطالعات در سطح منطقه‌ای و محلی مناسب نمی‌باشند. بنابراین، خروجی این مدل‌ها به منظور استفاده در مقیاس منطقه‌ای بایستی ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس‌نمایی به منظور تجزیه و تحلیل روند هیدرولوژیکی منطقه‌ای به دو رویکرد دینامیکی و آماری تقسیم‌بندی می‌شوند. در این تحقیق از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری استفاده گردید که خود شامل روش‌های مختلفی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به روش جداسازی فضایی تصحیح اریبی^۱ و روش آنالوگ‌های ساخته شده تصحیح شده اریبی^۲ اشاره نمود (۱). روش جداسازی فضایی تصحیح اریبی در سه مرحله انجام می‌پذیرد. در مرحله اول اصلاح انحراف آماری شبیه‌سازی‌های مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت در مقیاس شبکه مدل‌های گردش کلی جو و در گام زمانی ماهانه محاسبه می‌گردد. در مرحله دوم، ریزمقیاس‌نمایی فضایی از شبکه مدل‌های گردش کلی به شبکه مورد نظر (محلی یا

1- Bias Correction Spatial Disaggregation, BCSD
2- Bias Corrected Constructed Analogs, BCCA

$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - y_{model,t})^2}{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (1)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - y_{model,t})}{\sum_{t=1}^T x_{obs,t}} * 100 \quad (2)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs}) * (y_{model,t} - \bar{y}_{model})}{\left[\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})^2 \right]^{0.5} * \left[\sum_{t=1}^T (y_{model,t} - \bar{y}_{model})^2 \right]^{0.5}} \right\}^2 \quad (3)$$

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - y_{model,t})^2}}{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs,t} - \bar{x}_{obs})^2}} \quad (4)$$

درصد ضریب اریبی (PBIAS)، ضریب تبیین (R²) و جذر نسبت استاندارد شده جذر مجموع مربعات خطاء (RSR) (به ترتیب براساس روابط ۱ تا ۴)، مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفتند. همچنین با توجه به محدوده مناسب هر یک از ضرایب ارزیابی مطابق جدول ۳، نهایتاً چهار مدل NorESM1-M, GFDL-ESM2G, MIROC-ESM و IPSL-CM5A-MR به عنوان مدل بهینه اقلیمی حوضه مطالعاتی مطابق جدول ۴ انتخاب گردیدند. سپس اطلاعات سناریوهای انتشار آینده نیز با توجه به مراحل اول و دوم استخراج داده‌های تاریخی، استخراج و درون یابی گردید.

جدول ۳- ضرایب ارزیابی مدل و حدود تشخیص ضرایب (۱۷)

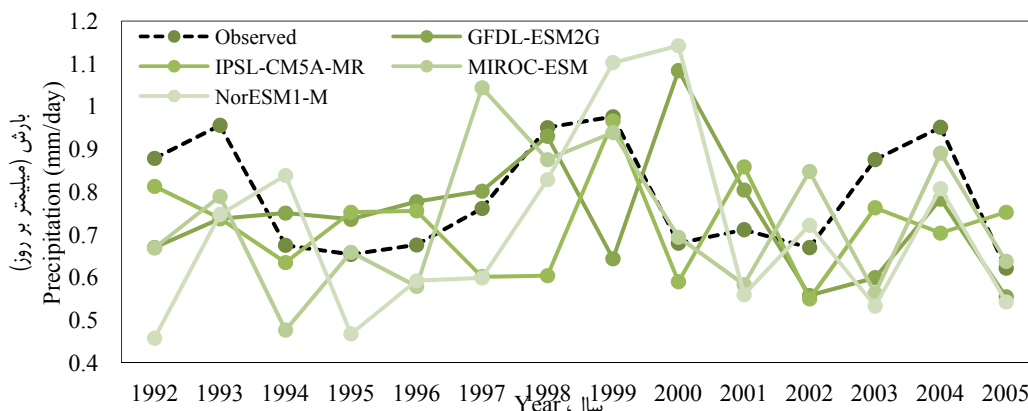
Table 3- Criteria Evaluation and Performance Ratings Range (17)

ارزیابی Evaluation	ضرایب ارزیابی Criteria Evaluation			
	RSR	R ²	PBIAS	NS
خیلی خوب Very Good	0 ≤ RSR ≤ 0.5	0.866 ≤ R ² < 1	PBIAS ≤ ±10	0.75 < NS ≤ 1
خوب Good	0.5 < RSR ≤ 0.6	0.733 ≤ R ² < 0.866	±10 ≤ PBIAS ≤ ±15	0.65 < NS ≤ 0.75
قابل قبول Satisfactory	0.6 ≤ RSR ≤ 0.7	0.6 ≤ R ² < 0.733	±15 ≤ PBIAS ≤ ±25	0.5 < NS ≤ 0.65
عدم قبول Unsatisfactory	RSR > 0.7	R ² < 0.6	PBIAS ≥ ±25	NS < 0.5

جدول ۴- نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای ۱۴ مدل CMIP5 در مؤلفه بارش

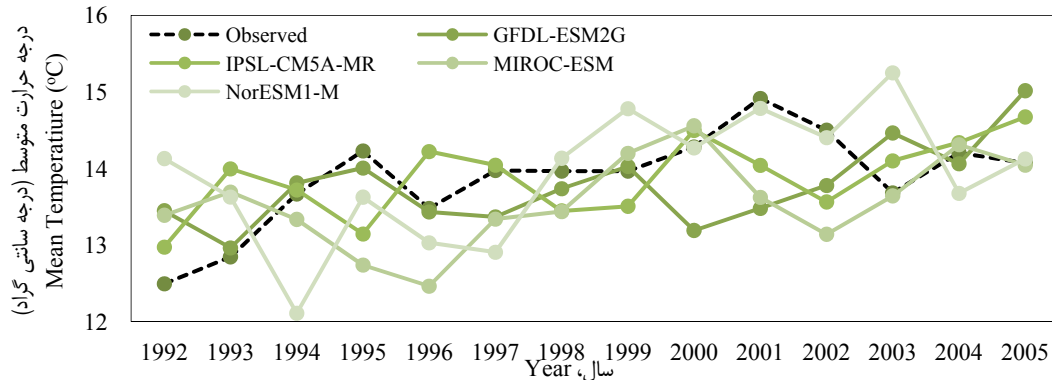
Table 4- Reported Performance Rating of Evaluation Criteria for 14 Models of Fifth Report in Precipitation

مدل Model	معیار ارزیابی Criteria Evaluation				مدل Model	معیار ارزیابی Criteria Evaluation			
	RSR	R ²	PBIAS	NS		RSR	R ²	PBIAS	NS
GFDL-ESM2M	0.64	0.79	-10.4	0.66	HadGEM2-ES	0.73	0.69	-17.15	0.57
GFDL-ESM2G	0.37	0.94	-2.93	0.92	IPSL-CM5A-LR	0.61	0.81	-15.65	0.71
CESM1(CAM5)	0.68	0.63	-26.36	0.55	NorESM1-M	0.51	0.92	-4.74	0.88
GFDL-CM3	0.74	0.54	-26.03	0.48	BCC-CSM1.1	0.67	0.74	-11.01	0.62
MIROC-ESM-CHEM	0.66	0.71	-5.25	0.78	CCSM4	0.79	0.52	-28.15	0.43
IPSL-CM5A-MR	0.46	0.85	-4.96	0.85	MIROC-ESM	0.33	0.97	-2.88	0.95
MIROC5	0.68	0.71	-25.75	0.60	CSIRO-MK3.6	0.71	0.60	-27.44	0.51



شکل ۲- انطباق چهار مدل CMIP5 و داده‌های مشاهداتی برای مؤلفه بارش سالانه در حوضه آبخیز کشف رود

Figure 2- Adaption between four CMIP5 models and observed data for yearly precipitation component in Kashafrood basin



شکل ۳- انطباق چهار مدل CMIP5 و داده‌های مشاهداتی برای مؤلفه درجه حرارت متوسط سالانه در حوضه آبخیز کشف رود
Figure 3- Adaption between four CMIP5 models and observed data for yearly mean temperature component in Kashafrood basin

تحقیق نیز از سطوح معنی‌دار ۰/۰۰۱، ۰/۰۱، ۰/۰۵، ۰/۱ و ۰/۱ (معادل سطوح اعتماد ۹۹/۹، ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد) به منظور تجزیه و تحلیل نتایج استفاده گردید.

$$Z_C = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S > 0 \\ 0, S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل روند تغییرات فصلی مؤلفه‌های اقلیمی در این تحقیق با استفاده از آزمون من-کندال انجام پذیرفت که نتایج آن در اشکال ۴ و ۵ ارائه شده است. نتایج نشان داد که مؤلفه بارش در اکثر مدل‌ها و سناریوها از روند مثبت (افزایشی) و منفی (کاهشی) معنی‌داری پیروی نمی‌کند. همچنین مطابق شکل ۴ برای مؤلفه بارش، از بین مدل‌ها و سناریوهایی که دارای روند معنی‌دار هستند، مشاهده گردید که ۶۶ درصد داده‌ها از روند منفی و ۳۴ درصد داده‌ها نیز از روند مثبت و در سطوح اعتماد ۹۰، ۹۵ و ۹۹ درصد برخوردار می‌باشند. نتایج بررسی روند تغییرات معنی‌دار مؤلفه بارش و در مقیاس فصلی به ترتیب دوره‌های زمانی آینده نشان می‌دهد که در آینده نزدیک: در فصل تابستان، روند مثبت و منفی به ترتیب در مدل‌های GFDL-ESM2G (RCP8.5) و MIROC-ESM (RCP4.5) و در فصل پاییز، تنها در مدل MIROC-ESM (RCP6.0) روند مثبت و در سطح اعتماد ۹۵ درصد و در فصل زمستان نیز، به ترتیب روند مثبت در مدل‌های GFDL-ESM2G (RCP4.5) و NorESM1-M (RCP6.0) و روند منفی در مدل‌های IPSL-CM5A-MR (RCP6.0) و MIROC-ESM (RCP2.6,6.0) و در سطوح اعتماد ۹۰ و ۹۹ درصد رخ می‌دهد. در آینده متوسط: در فصل بهار و

در این معادله $Y_{model,t}$ و $X_{obs,t}$ به ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی مدل‌های CMIP5 در واحد زمانی t و \bar{Y}_{model} نیز به ترتیب میانگین مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در کل دوره زمانی ارزیابی (دوره پایه) می‌باشد. انطباق داده‌های شبیه‌سازی شده در چهار مدلسری CMIP5 با داده‌های مشاهداتی در شکل ۲ و ۳ نشان داده شده است (اعداد روی محور افقی برحسب سال میلادی و معادل ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۴ شمسی می‌باشند).

از آنجا که هدف از این تحقیق تجزیه و تحلیل روند تغییرات بارش و درجه حرارت در چهار مدل CMIP5 می‌باشد، بنابراین از آزمون غیرپارامتری من-کندال استفاده گردید. آزمون فوق یک روش آماری است که به طور گسترده‌ای برای تشخیص روند پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی و زمانیکه ایستگاه‌های مختلف در یک منطقه مطالعاتی موجود باشند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. آزمون من-کندال به عنوان یک آزمون غیرپارامتری برای تشخیص روند توسط من (۱۵) و به عنوان یک آزمون توزیع آماری برای تست روند غیرخطی و نقطه عطف توسط کندال (۱۲) فرموله گردید که در این آزمون پارامتر S به صورت زیر تعریف می‌گردد:

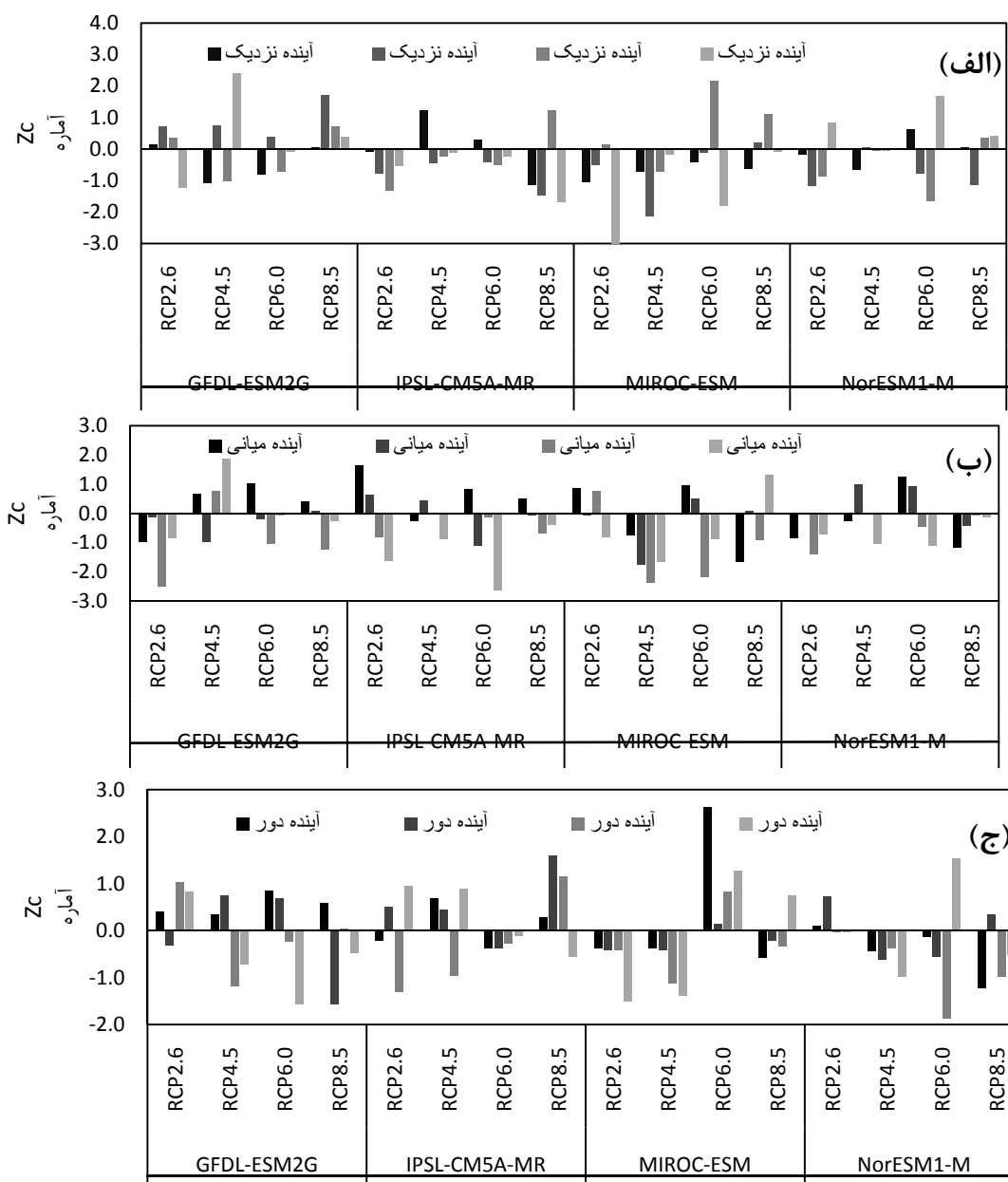
$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (5)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1, 0 > (X_j - X_i) \\ 0, 0 = (X_j - X_i) \\ -1, 0 < (X_j - X_i) \end{cases} \quad (6)$$

در روابط فوق X_i و X_j داده‌های مربوط به نقاط i ام و j ام می‌باشند. آزمون آماری Z_C به صورت رابطه زیر بیان می‌گردد که مقادیر مثبت (یا منفی) برای Z_C نشان دهنده یک روند رو به بالا (یا روبه پائین) می‌باشد. α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و اگر Z_C از $Z_{\alpha/2}$ (آماره توزیع نرمال استاندارد) بیشتر باشد، روند تغییرات قابل ملاحظه و معنی‌دار می‌باشد. در این

در تابستان، روند منفی به ترتیب تنها در مدل MIROC-ESM (RCP4.5) و (RCP8.5) در سطح اعتماد ۹۰ درصد مشاهده می‌گردد. در فصل پائیز، روند منفی در مدل MIROC-ESM (RCP4.5,6.0) و GFDL-ESM2G (RCP2.6) در سطح اعتماد ۹۵ درصد و در فصل زمستان، به ترتیب روند مثبت در مدل GFDL-ESM2G (RCP4.5) و روند منفی در مدل‌های MIROC-ESM (RCP4.5) و IPSL-CM5A-MR (RCP6.0) و در فصل بهار، روند مثبت در مدل MIROC-ESM (RCP6.0) و در فصل پائیز روند مثبت و منفی در آینده نزدیک و متوسط در فصل زمستان و در آینده دور، به ترتیب در فصول بهار (روند مثبت) و پائیز (روند منفی) مشاهده خواهد شد.

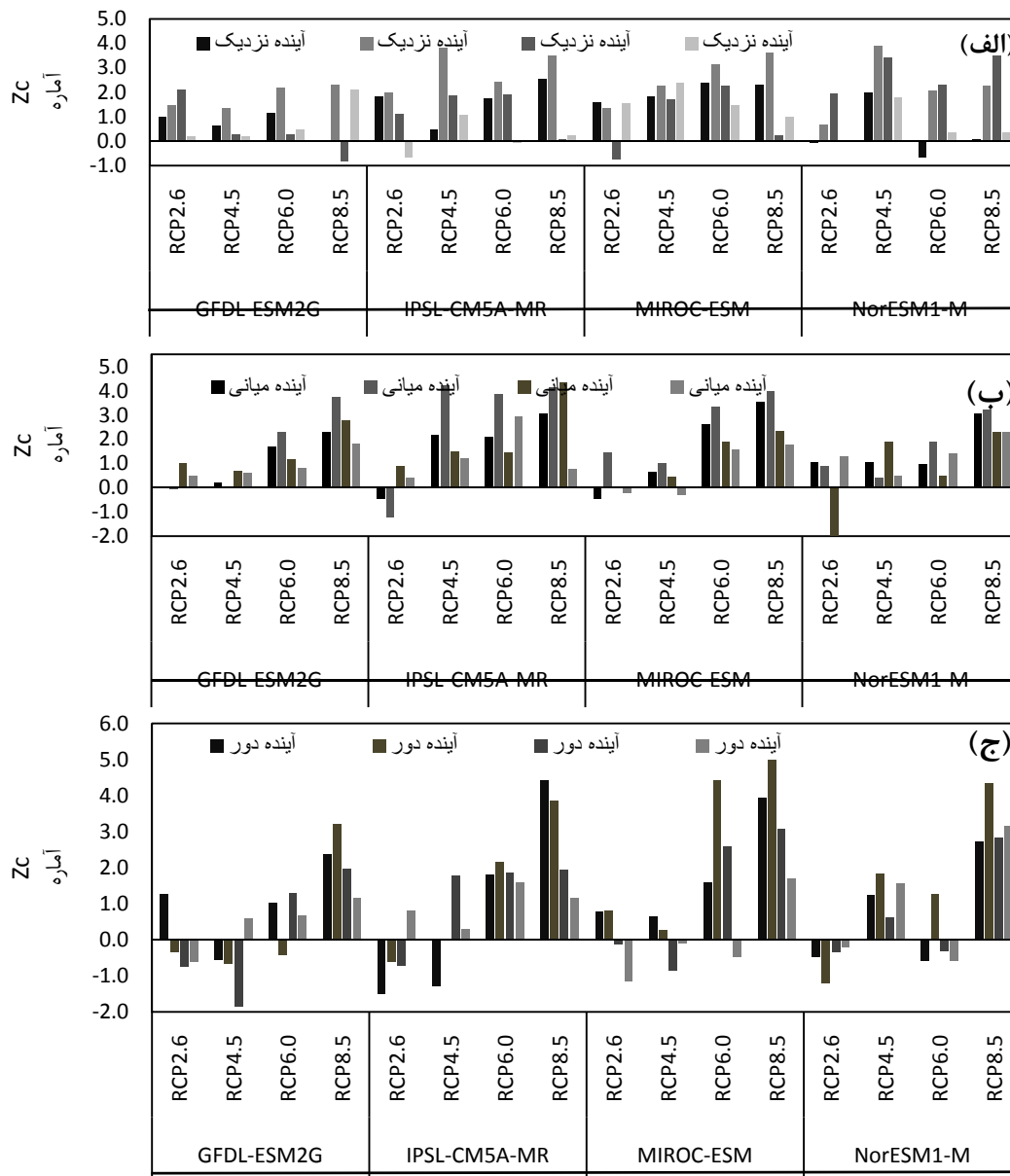
در فصل بهار، روند مثبت در مدل MIROC-ESM (RCP6.0) و در سطح اعتماد ۹۰ و ۹۹ درصد اتفاق می‌افتد. نهایتاً، در آینده دور: در سطح اعتماد ۹۵ درصد و در فصل پائیز روند منفی در مدل NorESM1-M (RCP6.0) و در سطح اعتماد ۹۰ درصد مشاهده خواهد شد. بیشترین روند معنی‌دار مثبت و منفی در آینده نزدیک و متوسط در فصل زمستان و در آینده دور، به ترتیب در فصول بهار (روند مثبت) و پائیز (روند منفی) مشاهده خواهد شد.



شکل ۴- روند فصلی بارش (میلیمتر) در مدل‌های CMIP5 تحت چهار سناریوی انتشار، الف: آینده نزدیک، ب: آینده میانی و ج: آینده دور
 Figure 4- Seasonal Trend of Precipitation (mm) in CMIP5 Models under Four RCPs, a: Near-future, b: medium-future and c: late-Future

حرارت در آینده متوسط و در فصول بهار و زمستان در مدل‌های IPSL-CM5A-MR، GFDL-ESM2G (RCP2.6,4.5)، NorESM1-M و MIROC-ESM (RCP4.5)، (RCP2.6,4.5,6.0) و در آینده نزدیک در فصول تابستان و پاییز در مدل‌های IPSL-CM5A-MR، GFDL-ESM2G (All RCPs)، NorESM1-M و MIROC-ESM (RCP6.0,8.5)، (RCP4.5,6.0) رخ خواهد داد.

بر اساس شکل ۵، روند تغییرات فصلی درجه حرارت متوسط نشان داد که تمامی مدل‌ها و تحت سناریوهای انتشار از یک روند مثبت معنی‌دار در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد برخوردار می‌باشد و بیشترین این تغییرات تحت سناریوهای RCP6.0,8.5 رخ خواهد داد. تنها دو مدل در فصل پاییز به نام‌های GFDL-ESM2G (RCP4.5) در آینده دور و NorESM1-M (RCP2.6) در آینده متوسط از یک روند منفی معنی‌دار و در سطوح اطمینان ۹۰ و ۹۵ درصد برخوردار می‌باشند. بیشترین روند تغییرات مثبت معنی‌دار درجه



شکل ۵- روند فصلی درجه حرارت متوسط (درجه سانتی‌گراد) در مدل‌های CMIP5 تحت چهار سناریوی انتشار، الف: آینده نزدیک، ب: آینده میانی و ج: آینده دور

Figure 5- Seasonal Trend of Mean Temperature (oC) in CMIP5 Models under Four RCPs, a: Near-future, b: medium-future and c: late-Future

نزدیک) و MIROC-ESM (آینده متوسط)، تحت سناریوی RCP4.5 در مدل‌های GFDL-ESM2G (آینده نزدیک) و NorESM1-M (آینده دور)، تحت سناریوی RCP6.0 در مدل‌های NorESM1-M (آینده نزدیک) و IPSL-CM5A-MR (آینده متوسط) و همچنین تحت سناریوی RCP8.5 در مدل‌های IPSL-CM5A-MR (آینده نزدیک) و NorESM1-M (آینده متوسط) رخ خواهد داد. مطابق جدول ۵، فصل‌های تابستان و پاییز دارای کمترین مقادیر بارش در بین سایر فصول می‌باشند و در مقایسه با دوره‌های تاریخی، بیشترین و کمترین درصد کاهش این مؤلفه در فصل تابستان به ترتیب در مدل NorESM1-M (RCP4.5) در آینده دور و در مدل MIROC-ESM (RCP8.5) در آینده متوسط (۸۸/۳ و ۶۱/۱ درصد) و همچنین در فصل پائیز به ترتیب در مدل GFDL-ESM2G (RCP8.5) در آینده دور و در مدل IPSL-CM5A-MR (RCP4.5) در آینده نزدیک (۷۲/۵ و ۱۳/۱ درصد) رخ خواهد داد.

همچنین در دوره‌های زمانی آینده، بیشترین روند تغییرات درجه حرارت در فصل تابستان مشاهده می‌گردد. که بیشترین کاهش در مؤلفه بارش در این فصل با توجه به بیشترین میزان افزایش مؤلفه درجه حرارت رخ خواهد داد. در بخش قبل، تجزیه و تحلیل روند تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی در حوضه آبخیز کشف رود با استفاده از مدل‌های CMIP5 و تحت چهار سناریوی انتشار مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش مطابق جداول ۵ و ۶، مقادیر مؤلفه‌های اقلیمی در دوره‌های آتی و به منظور درک بهتر تغییر شرایط حوضه تا پایان قرن ۲۱ توسط این مؤلفه‌ها، مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج نشان داده شده در جدول ۵، بارش به ترتیب در فصول بهار، زمستان، پائیز و تابستان در تمامی مدل‌ها کاهش خواهد یافت و بیشترین و کمترین بارش‌های فصلی به ترتیب در بهار و تابستان در سناریوهای زیر مشاهده گردید. تحت سناریوی انتشار RCP2.6 در مدل‌های NorESM1-M (آینده

جدول ۵- میانگین مقادیر بارش (میلی‌متر) در مدل‌های CMIP5 و تحت چهار سناریوی RCP
Table 7- Average precipitation values (mm) in CMIP5 models under four RCPs

دوره آینده Future Period	فصل Season	مدل‌های گزارش پنجم (CMIP5)															
		NorESM1-M				MIROC-ESM				IPSL-CM5A-MR				GFDL-ESM2G			
سناریوی بودا اشتتاشی (RCP)																	
		8.5	6.0	4.5	2.6	8.5	6.0	4.5	2.6	8.5	6.0	4.5	2.6	8.5	6.0	4.5	2.6
نزدیک Near	بهار Spring	1409	1778	1514	1859	1597	1365	1412	1576	1641	1482	1427	1587	1584	1625	1678	1651
	تابستان Summer	58	50	48	58	57	54	59	66	86	53	73	51	36	60	67	91
	پائیز Fall	400	331	264	415	358	352	336	278	337	366	421	353	303	327	208	219
	زمستان Winter	1041	1169	1095	1132	1108	964	1081	986	1037	1064	1211	1173	1060	1118	1148	974
متوسط Medium	بهار Spring	1439	1745	1563	1789	1252	1231	1294	1160	1358	1374	1384	1572	1629	1752	1634	1537
	تابستان Summer	34	57	46	56	86	58	43	38	42	39	35	51	48	52	55	79
	پائیز Fall	296	300	293	254	365	301	273	311	357	382	335	385	224	273	267	329
	زمستان Winter	1102	1117	1064	1146	872	782	909	884	1123	982	989	1187	861	1094	1142	1035
دور Late	بهار Spring	1335	1595	1570	1653	1018	1320	1093	1397	1268	1452	1291	1364	1265	1391	1625	1750
	تابستان Summer	35	50	27	48	35	49	29	55	36	36	61	62	58	50	63	52
	پائیز Fall	225	319	174	236	360	328	309	283	229	321	367	384	126	279	194	262
	زمستان Winter	962	958	978	1066	829	856	818	881	898	863	1063	1149	776	907	958	960
دوره پایه Historical																	
کل دوره Total period	بهار Spring	1404				1418				1422				1367			
	تابستان Summer	235				222				252				245			
	پائیز Fall	525				420				485				461			
	زمستان Winter	898				1144				996				1189			

درجه سانتی‌گراد) حاصل خواهد شد. در فصل تابستان: بیشترین و کمترین کاهش درجه حرارت متوسط در آینده نزدیک به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM و GFDL-ESM2G (RCP6.0) و بیشترین و کمترین افزایش درجه حرارت متوسط در آینده متوسط و دور به ترتیب در مدل‌های GFDL-ESM2G و IPSL-CM5A-MR (RCP8.5) و $0.5/1.3$ (RCP8.5) درجه سانتی‌گراد) و بیشترین و کمترین افزایش درجه حرارت متوسط در آینده متوسط و دور به ترتیب در مدل‌های GFDL-ESM2G و IPSL-CM5A-MR (RCP8.5) و $0.3/3.5$ (RCP2.6) درجه سانتی‌گراد برای آینده متوسط و $0.6/6$ و $0.3/3$ درجه سانتی‌گراد آینده دور) و در نهایت در فصل پائیز: بیشترین و کمترین افزایش درجه حرارت متوسط در آینده نزدیک به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM و NorESM1-M (RCP8.5) و $0.6/9$ (RCP6.0) درجه سانتی‌گراد)، در آینده متوسط در مدل‌های GFDL-ESM2G (RCP2.6) و MIROC-ESM (RCP8.5) و $0.3/1.8$ (RCP2.6) و $0.8/3.1$ (RCP8.5) درجه سانتی‌گراد) و در آینده دور در مدل‌های IPSL-CM5A-MR (RCP8.5) و GFDL-ESM2G (RCP2.6) و $0.4/7$ و 0.14 درجه سانتی‌گراد) رخ خواهد داد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در تحقیق حاضر، به منظور بررسی تغییرات اقلیم حوضه آبخیز کشف رود از مدل‌های CMIP5 و سناریوهای جدید واداشت‌بشی در سه بازه زمانی آینده و تا انتهای قرن ۲۱ بهره گرفته شد. همچنین، به منظور روشن نمودن روند تغییرات فصلی مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت به عنوان ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی از آزمون غیرپارامتری من-کندال استفاده گردید. در مقیاس فصلی، نتایج نشان داد که بارش برخی مدل‌ها و سناریوها از یک روند متغیر مثبت و منفی معنی‌دار و در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد پیروی می‌کند. روند معنی‌دار رو به پائین مؤلفه بارش در آینده نزدیک، متوسط و کل دوره زمانی آینده و روند معنی‌دار رو به بالا یا نیمه‌مؤلفه در آینده دور مشاهده گردید. همچنین، بیشترین روند معنی‌دار روبه بالا و پائین در آینده نزدیک و متوسط در فصل زمستان و در آینده دور در فصل بهار (برای روند رو به بالا) و فصل پائیز (برای روند رو به پائین) مشاهده گردید. در رابطه با مؤلفه درجه حرارت نیز می‌توان گفت، اغلب مدل‌ها یک روند معنی‌دار روبه بالا و در سطح اعتماد ۹۹/۹ درصد را نشان دادند که این روندها از سناریوی انتشار RCP2.6 تا RCP8.5 افزایش می‌یابد. همچنین، برخی مدل‌ها در آینده متوسط و دور روند معنی‌دار رو به پائین و در سطوح اعتماد ۹۰ و ۹۵ درصد را از خود نشان دادند. بیشترین روند معنی‌دار رو به بالا در فصل‌های بهار و زمستان در آینده متوسط و در فصل‌های تابستان و پائیز در آینده نزدیک رخ خواهد داد.

در طی ارزیابی مؤلفه بارش در حوضه آبخیز کشف رود و در مقایسه با مقادیر بارش در دوره تاریخی، کمترین درصد کاهش بارش، در فصل بهار و در آینده نزدیک در مدل MIROC-ESM (RCP6.0) و بیشترین درصد کاهش بارش در فصل تابستان و در آینده دور در مدل NorESM1-M (RCP4.5) و همچنین کمترین درصد افزایش بارش در فصل زمستان و در آینده دور در مدل IPSL-CM5A-MR (RCP2.6) و بیشترین درصد افزایش بارش در فصل بهار و در آینده نزدیک در مدل NorESM1-M (RCP2.6) پیش-بینی می‌گردد.

نتایج جدول ۶ نشان می‌دهد که در تمامی مدل‌ها درجه حرارت متوسط به ترتیب در فصول تابستان، پائیز، بهار و زمستان بیشتر از دوره زمانی پایه می‌باشد. بنابراین، بیشترین و کمترین درجه حرارت متوسط در تابستان و زمستان رخ خواهد داد و در نتیجه، میزان بارش فصلی در این فصول نیز کاهش خواهد یافت (براساس نتایج ارائه شده در جدول ۵). همچنین در تمامی فصول به جزء در فصل پائیز، درجه حرارت متوسط در آینده دور به ترتیب بیشتر از آینده متوسط و نزدیک می‌باشد. مطابق جدول ۶، در بین تمامی مدل‌ها و سناریوها و در دوره‌های زمانی آتی، بیشترین درجه حرارت فصلی در تابستان و در آینده دور و تحت سناریوی انتشار RCP8.5 در مدل IPSL-CM5A-MR و کمترین درجه حرارت فصلی نیز در زمستان و در آینده متوسط و تحت سناریوی انتشار RCP2.6 در مدل GFDL-ESM2G رخ خواهد داد. در مقایسه با دوره‌های تاریخی در هر مدل پیش‌بینی می‌گردد که (جدول ۶)، در فصل زمستان: بیشترین و کمترین افزایش درجه حرارت متوسط در آینده نزدیک و به ترتیب در مدل‌های GFDL-ESM2G (RCP8.5) و MIROC-ESM (RCP2.6) و $1.6/2.9$ (درجه سانتی‌گراد)، بیشترین افزایش و کمترین کاهش درجه حرارت متوسط در آینده متوسط و به ترتیب در مدل‌های GFDL-ESM2G (RCP2.6) و MIROC-ESM (RCP8.5) و $0.3/2.5$ (درجه سانتی‌گراد) و بیشترین و کمترین افزایش درجه حرارت متوسط در آینده دور و در مدل‌های MIROC-ESM (RCP8.5) و GFDL-ESM2G (RCP2.6) و $0.14/4.7$ (درجه سانتی‌گراد) حاصل گردد. در فصل بهار: بیشترین و کمترین کاهش درجه حرارت متوسط در آینده نزدیک به ترتیب در مدل‌های IPSL-CM5A-MR (RCP8.5) و NorESM1-M (RCP4.5) و $4.2/5.2$ (درجه سانتی‌گراد) و بیشترین و کمترین افزایش درجه حرارت متوسط در آینده متوسط به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM (RCP8.5) و NorESM1-M (RCP2.6) و $0.3/0.8$ (درجه سانتی‌گراد) و در آینده دور به ترتیب در مدل‌های IPSL-CM5A-MR (RCP8.5) و GFDL-ESM2G (RCP2.6) و $0.5/5.7$ (درجه سانتی‌گراد) و $0.5/5.7$ (درجه سانتی‌گراد) رخ خواهد داد.

جدول ۶- میانگین مقادیر درجه حرارت متوسط (درجه سانتی گراد) در مدل‌های CMIP5 و تحت چهار سناریوی RCP

Table 8- Average mean temperature values (°C) in CMIP5 models under four RCPs

دوره آینده Future Period	فصل Season	مدل‌های گزارش پنجم (CMIP5)															
		NorESM1-M				MIROC-ESM				IPSL-CM5A-MR				GFDL-ESM2G			
		سناریوی واداشت تابشی (RCP)															
		8.5	6.0	4.5	2.6	8.5	6.0	4.5	2.6	8.5	6.0	4.5	2.6	8.5	6.0	4.5	2.6
نزدیک Near	بهار Spring	8.9	8.6	8.3	8.7	8.6	8.9	9.0	8.7	9.0	9.0	8.9	8.7	9.1	8.8	8.2	8.7
	تابستان Summer	24.2	23.9	24.3	23.8	24.3	23.7	24.1	24.1	23.9	24.0	24.1	23.9	24.2	23.8	24.2	24.2
	پائیز Fall	20.4	20.2	20.7	20.3	20.9	20.4	20.4	20.6	21.0	20.7	20.8	20.7	20.5	20.3	20.0	20.2
متوسط Medium	زمستان Winter	5.2	4.9	5.3	4.9	5.0	5.1	4.7	5.1	5.2	5.1	5.5	5.0	4.2	4.6	4.9	4.3
	بهار Spring	15.6	14.5	15.0	14.3	16.3	15.4	15.5	15.3	16.0	15.1	15.9	14.7	15.2	14.9	15.0	14.4
	تابستان Summer	27.9	26.7	27.2	26.3	28.4	26.9	27.2	26.5	28.5	27.3	27.6	27.0	27.2	26.6	26.7	26.0
دور Late	پائیز Fall	16.4	16.3	16.1	15.7	17.1	16.2	16.3	16.0	17.0	16.1	16.5	15.5	16.7	15.3	15.0	14.9
	زمستان Winter	4.8	4.2	3.7	3.6	4.7	4.0	4.3	4.0	4.8	4.1	4.4	4.0	3.0	2.7	2.7	2.3
	بهار Spring	17.5	15.9	15.8	14.6	18.8	16.7	16.0	15.2	19.0	16.6	16.2	15.0	17.4	15.7	14.7	13.8
کل دوره Total period	تابستان Summer	30.5	27.9	27.6	26.6	31.2	28.6	28.2	26.7	31.6	28.9	28.3	26.4	29.5	27.3	27.0	25.5
	پائیز Fall	18.9	17.0	16.9	16.0	20.0	18.0	17.1	16.0	20.3	17.8	17.0	15.7	18.4	16.5	15.8	15.0
	زمستان Winter	6.5	5.5	5.2	4.4	7.0	5.4	4.6	3.9	7.5	5.7	5.0	3.8	4.9	3.9	3.4	2.8
دوره پایه (Historical)																	
کل دوره Total period	بهار Spring	13.5				13.3				13.2				13.3			
	تابستان Summer	24.9				24.9				25.0				25.1			
	پائیز Fall	14.2				13.9				14.2				14.1			
	زمستان Winter	3.2				2.2				3.1				2.6			

کشف رود به ترتیب کاهش و افزایش پیدا خواهد کرد. نهایتاً، تأکید می‌شود که وجود عدم قطعیت به علت وجود داده‌های مشاهداتی ناقص و مفقود، درک ما را از تغییرات اقلیم در دوره‌های زمانی طولانی دچار اختلال و یا تصمیم‌گیری و قضاوت درباره عملکرد مدل‌های اقلیمی به منظور پیش‌بینی اقلیم آینده را سخت و دشوار می‌نماید. در تحقیق حاضر تغییرات اقلیم حوضه آبخیز کشف رود با فرض ثابت بودن شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی صورت پذیرفت. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد که در تحقیقات بیشتر، عدم قطعیت‌های مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم و با در نظر گرفتن کلیه عوامل محیطی فوق و به منظور درک بهتری تغییرات اقلیم آبی در سرتاسر حوضه مطالعاتی فوق انجام پذیرد.

از طرف دیگر، بیشترین و کمترین بارش‌ها در فصول بهار و تابستان حاصل خواهد شد. همچنین، می‌توان انتظار داشت که کمترین و بیشترین درصد کاهش بارش نیز، به ترتیب در فصل‌های بهار و تابستان و کمترین و بیشترین درصد افزایش بارش در فصل‌های زمستان و بهار رخ دهد. درجه حرارت متوسط در تمامی فصول بیشتر از دوره تاریخی می‌باشد. براساس نتایج حاصله از این تحقیق، بیشترین و کمترین افزایش درجه حرارت متوسط به ترتیب در پائیز (آینده نزدیک) و در زمستان (آینده دور)، بیشترین و کمترین کاهش درجه حرارت متوسط به ترتیب در فصل بهار (آینده نزدیک) و زمستان (آینده متوسط) رخ دهد. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر درجه حرارت و بارش تا انتهای قرن ۲۱ در حوضه آبخیز

منابع

- 1- Ahmed K.F., Wang G., Silander J., Wilson A.M., Allen J.M., Horton, R., and Anyah R. 2013. Statistical

- downscaling and bias correction of climate model outputs for climate change impact assessment in the U.S. northeast. *Journal Global and Planetary Change*, 100:320-332.
- 2- Ashraf Vaghefi S., Mousavi S.J., Abbaspour K.C., Srinivasan R. and Yang H. 2014. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. *Journal of Hydrological Processes*, 28(4):2018-2032.
 - 3- Brekke L., Thrasher B.L., Maurer E.P. and Pruitt T. 2013. Downscaled CMIP3 and CMIP5 Climate Projections: Release of Downscaled CMIP5 Climate Projections, Comparison with Preceding Information, and Summary of User Needs. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Denver, Colorado, p116.
 - 4- Chadwick R., Boutle I. and Martin G. 2013. Spatial patterns of precipitation change in CMIP5: Why the rich do not get richer in the tropics. *Journal of Climate*, 26(11):3803–3822.
 - 5- Cuo L., Zhang Y., Zhu F. and Liang L. 2015. Characteristics and changes of streamflow on the Tibetan Plateau: a review. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2:49–68.
 - 6- IPCC. 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment (1990)*. Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK.
 - 7- IPCC. 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report. Summary for Policymakers*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Retrieved December 18, 2014, from www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/AR5/syr/SYR_AR5_SPMcorr1.pdf.
 - 8- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Exit EPA Disclaimer Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (ed.) by M.L. Parry et al. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, 365pp.
 - 9- Javan K., Nasirisaheh F. and TaheriShahraiyani H. 2013. The influences of climate change on the runoff Gharesoo River Watershed. *American Journal of Climate Change*, 2(4):296-305.
 - 10- Jiang Z.H., Chen W.L. and Song J. et al. 2009. Projection and evaluation of the precipitation extremes indices over China based on seven IPCC AR4 coupled climate models. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 33(1):109-120.
 - 11- Kharin V.V., Zwiers F.W., Zhang X. and Wehner M. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *Journal of Climatic Change*, 119:345–357.
 - 12- Kendall M.G. 1955. *Rank Correlation Methods*. Griffin. London.
 - 13- Kumar bal P., Ramachandran A., Geetha R., Bhaskaran B., Thirumurugan P., Indumathi J., and Jayanthi N. 2016. Climate change projections for Tamil Nadu, India: deriving high-resolution climate data by a downscaling approach using PRECIS. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 123(3–4):523-535.
 - 14- Ma C., Pan S., Wang G., Liao Y., and Xu Y.P. 2016. Changes in precipitation and temperature in Xiangjiang River Basin, China. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 123(3–4):859-871.
 - 15- Mann H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Journal of Econometrica*, 13(3):245-259.
 - 16- Miao C.Y., Duan Q.Y., Sun Q.H. and Li J.D. 2013. Evaluation and application of Bayesian multi-model estimation in temperature simulations. *Journal of Progress in Physical Geography*, 37:727–744.
 - 17- Moriasi D.N., Arnold J.G., Van Liew M.W., Bingner R.L., Harmel R.D. and Veith T.L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Journal of American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3):885–900.
 - 18- Moss R., Edmonds J. and Hibbard K. et al. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Journal of Nature*, 463(7282):747–756.
 - 19- Najafi M.R. and Moazami S. 2015. Trends in total precipitation and magnitude–frequency of extreme precipitation in Iran, 1969–2009. *International Journal of Climatology*, Doi: 10.1002/joc.4465.
 - 20- Najafi M.R., Zwiers F.P. and Gillett N.P. 2015. Attribution of Arctic temperature change to greenhouse-gas and aerosol influences. *Journal of Nature Climate Change*, 5(3):246–249.
 - 21- Pervez M.S. and Henebry G.M. 2015. Assessing the impacts of climate and land use and land cover change on the freshwater availability in the Brahmaputra River basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 3:285–311.
 - 22- Schubert S.D. and Lim Y.K. 2013. *Climate variability and weather extremes: Model-simulated and historical data*. *Journal of Extremes in a Changing Climate*, P.239–285. Springer. Netherlands. Doi: 10.1007/978-94-007-4479-0_9.
 - 23- Terink W., Immerzeel W.W. and Droogers P. 2013. Climate change projections of precipitation and reference evapotranspiration for the Middle East and Northern Africa until 2050. *International Journal of Climatology*, 33(14):3055-3072.
 - 24- Van Vuuren D.P., Edmonds J. and Kainuma M. et al 2011. The representative concentration pathways: an overview. *Journal of Climatic Change*, 109:5–31.
 - 25- Wan H., Zhang X., Zwiers F. and Min S.K. 2014. Attributing northern high-latitude precipitation change over the period 1966–2005 to human influence. *Journal of Climate Dynamics*, 45:1713-1726.
 - 26- Xu C.H. and Xu Y. 2012. The Projection of Temperature and Precipitation over China under RCP Scenarios using a CMIP5 Multi-Model Ensemble. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 5(6):527–533.

- 27- Zarghami M., Abdi A., Babaeian I., Hassanzadeh Y. and Kanani R. 2011. Impacts of Climate Change on Runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Journal Global and Planetary Change*. 78(3-4):137-146.
- 28- Zhao Z.C., Luo Y. and Jiang Y. et al. 2008. Projections of surface air temperature change in China for the next two decades. *Journal of Meteorology and Environment (in Chinese)*, 24(5):1-5.

Seasonal Changes of Precipitation and Temperature of Mountainous Watersheds in Future Periods with Approach of Fifth Report of Intergovernmental Panel on Climate Change (Case study: Kashafrud Watershed Basin)

A. AghakhaniAfshar^{1*} - Y. Hasanzadeh² - A.A. Besalatpour³ -M. Pourreza-Bilondi⁴

Received: 25-07-2016

Accepted: 28-08-2016

Introduction: Hydrology cycle of river basins and water resources availability in arid and semi-arid regions are highly affected by climate changes, so that recently the increase of temperature due to the increase of greenhouse gases have led to anomaly in the Earth' climate system. At present, General Circulation Models (GCMs) are the most frequently used models for projection of different climatic change scenarios. Up to now, IPCC has released four different versions of GCM models, including First Assessment Report models (FAR) in 1990, Second Assessment Report models (SAR) in 1996, Third Assessment Report models (TAR) in 2001 and Fourth Assessment Report models (AR4) in 2007. In 2011, new generation of GCM, known as phase five of the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP5) released which it has been actively participated in the preparation of Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) fifth Assessment report (AR5). A set of experiments such as simulations of 20th and projections of 21st century climate under the new emission scenarios (so called Representative Concentration Pathways (RCPs)) are included in CMIP5. Iran is a country that located in arid and semi-arid climates mostly characterized by low rainfall and high temperature. Anomalies in precipitation and temperature in Iran play a significant role in this agricultural and quickly developing country. Growing population, extensive urbanization and rapid economic development shows that Iran faces intensive challenges in available water resources at present and especially in the future. The first purpose of this study is to analyze the seasonal trends of future climate components over the Kashafrud Watershed Basin (KWB) located in the northeastern part of Iran and in the Khorsan-e Razavi province using fifth report of Intergovernmental Panel on climate change (IPCC) under new emission scenarios with Mann-Kendall (MK) test. Mann-Kendall is one of the most commonly used nonparametric tests to detect climatic changes in time series and trend analysis. The second purpose of this study is to compare CMIP5 models with each other and determine the changes in rainfall and temperature in the future periods in compare with base period on seasonal scale in all parts of this basin.

Materials and Methods: In this research, keeping in view the importance of precipitation and temperature parameters, fourteen models obtained from the General Circulation Models (GCMs) of the newest generation in the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) were used to forecast the future climate changes in the study area. In historical time (1992-2005), simulated data of these models were compared with observed data (34 rainfall and 12 temperature stations) using four evaluation criteria for goodness-of-fit including Nash-Sutcliffe (NS), Percent of Bias (PBIAS), coefficient of determination (R^2) and the ratio of the root mean square error to the standard deviation of measured data (RSR). Furthermore, all models have a very good rating performance for all of the evaluation criteria and therefore investigation is done for precipitation data as an important component in survey of climate subject to select the optimum models in kashafrud watershed basin.

Results and Discussion: By comparing four evaluation criteria for fourteen models of CMIP5 during historical time, finally, four climate models, including GFDL-ESM2G, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM and NorESM1-M which indicated more agreement with observed data according to the evaluation criteria were selected. Furthermore, four Representative Concentration Pathways (RCPs) of new emission scenario, namely RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 were extracted, interpolated and then under three future periods, including near-century (2006-2037), mid-century (2037-2070) and late-century (2070-2100) were investigated and compared.

1 and 2- Ph.D. Student of Civil Engineering, Hydraulic Structures and Professor Department of Water Engineering College of Civil Engineering, Dept. of Water Engineering, University of Tabriz

(*-Corresponding Author Email: a.h.aghakhani@tabrizu.ac.ir)

3- Assistant Professor Department of Soil Sciences, College of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan.

4- Assistant Professor Department of Water Engineering, College of Agriculture, University of Birjand

Conclusions: The results of Mann-Kendall test which was applied to examine the trend, revealed that the precipitation have variable positive and negative trends which were statistically significant. In addition, mean temperature have a significant positive trend with 90, 99 and 99.9% confidence level. In seasonal scale, survey of climatic variable (rainfall and mean temperature) showed that the maximum and minimum of precipitations occur during spring and summer and mean temperature in all seasons is higher than historical baseline, respectively. Maximum and minimum of mean temperature occur in summer and winter, and the amount of seasonal precipitation in these seasons will be reduced. Finally, across all parts of kashafrood watershed basin, rainfall and mean temperature will be reduced and increased, respectively. In conclusion, models of CMIP5 can simulate the future climate change in this region and four models of CMIP5 can be used for this region.

Keywords: Climate change, Fifth assessment report, Greenhouse gases, RCP scenario, Mann-Kendall test