



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و سوم، شماره ششم، ۱۳۹۵
<http://jwsc.gau.ac.ir>

ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های اقلیمی حوضه آبخیز کشف‌رود در دوره‌های آبی با استفاده از گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم

*امیرحسین آقاخانی افشار^۱، یوسف حسن‌زاده^۲، علی‌اصغر بسالت‌پور^۳ و محسن پوررضا بیلندی^۴

^۱دانش‌آموخته دکتری تخصصی سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ^۲استاد گروه مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ^۳استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه ولیعصر رفسنجان (ع)، ^۴استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: چرخه هیدرولوژی در حوضه رودخانه‌ها و منابع آب قابل دسترس در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به شدت تحت تأثیر تغییرات اقلیم و افزایش بیش از حد انتشار گازهای گلخانه‌ای قرار دارند. به‌گونه‌ای که در سال‌های اخیر، افزایش دمای ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب ایجاد یک ناهنجاری در سیستم اقلیم کره زمین گردیده است. استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به منزله معتبرترین ابزار در پژوهش‌های تغییر اقلیم، در حال افزایش است. تاکنون نسخه‌های گوناگونی از این مدل‌ها عرضه شده است که از آن جمله می‌توان به مدل‌های اولین گزارش ارزیابی هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم تحت عنوان FAR، مدل‌های دومین گزارش با عنوان SAR، مدل‌های سومین گزارش با عنوان TAR و مدل‌های چهارمین گزارش ارزیابی با عنوان AR4 اشاره کرد. هدف از این پژوهش بررسی سالیانه روند تغییرات آبی مؤلفه‌های اقلیمی در حوضه آبخیز کشف‌رود (که در شمال‌شرقی ایران و در استان خراسان رضوی واقع شده است) با استفاده از گزارش جدید هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (گزارش پنجم) و تحت سناریوهای جدید انتشار می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با در نظر گرفتن پارامترهای بارش و دما به‌عنوان مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی، چهارده مدل از بین مدل‌های مستخرج از جدیدترین گزارش هیأت بین‌الدول (گزارش پنجم، AR5)، انتخاب گردید. در دوره تاریخی (۱۹۹۲-۲۰۰۵)، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی و با استفاده از چهار معیار ارزیابی شامل: ضریب ناش-ساتکلیف (NS)، درصد اریبی (PBIAS)، ضریب تعیین (R^2) و نسبت جذر ریشه مربعات خطا به انحراف معیار استاندارد داده‌های مشاهداتی (RSR)، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند.

یافته‌ها: در نهایت، چهار مدل اقلیمی به نام‌های MIROC-ESM، IPSL-CM5A-MR، GFDL-ESM2G و NorESM1-M که براساس معیارهای ارزیابی انطباق بیش‌تری 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 (۲۰۰۶-۲۰۳۷)، آینده میانی (۲۰۳۷-۲۰۷۰) و آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) در این چهار مدل مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند.

* مسئول مکاتبه: a.h.aghakhani@tabrizu.ac.ir

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از آزمون من- کندال، نشان داد که مؤلفه بارش، روند تغییرات قابل توجه کاهشی و افزایشی متغیری را از خود نشان می‌دهد. همچنین دمای متوسط نیز روند افزایشی قابل توجهی با سطح اعتماد ۹۰، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد از خود نشان می‌دهد. از طرف دیگر تا انتهای قرن ۲۱ در مقایسه با دوره تاریخی در تمامی مناطق حوضه آبخیز کشف‌رود و با در نظر گرفتن تمامی مدل‌ها و سناریوها، به‌طور متوسط دمای حوضه بین 0.56°C تا $3/3$ افزایش و بارش به‌میزان $10/7$ درصد کاهش را از خود نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: روند تغییرات سالانه، تغییر اقلیم، بارش و دما، گزارش پنجم هیأت بین‌الدول، سناریوی انتشار

مقدمه

اخیراً، آگاهی از اثرات تغییرات اقلیم در نتیجه فعالیت‌های انسانی دو چندان شده است. براساس گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم، این پدیده تأثیرات چشم‌گیری در چرخه هیدرولوژیکی و مدیریت منابع آب داشته است (۸). شواهد قوی نشان می‌دهد که افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب تغییر نوسانات و روند کمیت‌های هیدرواقلمی می‌گردد (۲۵، ۲۰). امروزه به‌دلیل افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای، گرمایش جهانی احتمالاً تأثیرات چشم‌گیری در میزان بارش خواهد داشت (۲۱، ۵). به‌عنوان مثال در قرن گذشته، میانگین درجه حرارت جهانی به 0.85 درجه سلسیوس افزایش یافته است (۷). بنابراین بارش به‌عنوان یک عامل کلیدی در تغییر در فرکانس و دامنه چرخه هیدرولوژیکی، عواقب جدی را به‌دنبال خواهد داشت (۱۹). در نتیجه، میانگین متغیرهای اقلیمی به خصوص مؤلفه‌های دما و بارش در مقیاس سالانه یا فصلی، نقش غالبی را در چرخه هیدرولوژیکی بازی نموده و معمولاً به‌عنوان یک شاخص برای ارزیابی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، ارزیابی کمیت‌های بارش و درجه حرارت تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم، ضروری به‌نظر می‌رسد که این مؤلفه‌ها ذاتاً از یک عدم اطمینان برخوردار بوده و اغلب تصمیم‌گیرندگان استنباط آن‌ها را سخت می‌دانند (۲۲). در دهه‌های اخیر، ارزیابی

مؤلفه‌های اقلیمی در دوره‌های آتی توسط مدل‌های جهانی اقلیم صورت پذیرفته است (۸). مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)^۱ به‌عنوان مدل‌های عددی که فرآیندهای فیزیکی جو را نشان می‌دهند، می‌توانند اقلیم حاضر را شبیه‌سازی و شرایط اقلیم آینده را تحت سناریوهای مختلف، تصویرسازی نمایند (۱۶، ۶). نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده گردید، تحت عنوان پروژه دورن‌مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده (CMIP5)^۲ شناخته شده است. مجموعه‌ای از آزمایش‌ها شامل شبیه‌سازی‌های قرن بیستم و پروژه‌های اقلیمی قرن ۲۱ تحت سناریوهای جدید انتشار با عنوان نماینده خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP)^۳، مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند (۱۸). ماس و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای، مسیرهای انتشار را براساس تصمیمات سیاسی متفاوت فرض‌شده‌ای که بر تحولات زمانی انتشار آتی 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، عمدتاً براساس مدل‌های گزارش چهارم هیأت

1- General Circulation Model
2- Coupled Model Intercomparison Phase 5
3- Representative Concentration Pathway

به‌نظر می‌رسد. به‌طوری‌که مدل‌های فوق می‌توانند درکی بهتر از این مناطق در دوره‌های زمانی آتی نسبت به مدل‌های پیشین هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (گزارش سوم و چهارم) برای مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب فراهم نمایند (۲۹). بنابراین دو هدف کلی در این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف اول این پژوهش تجزیه و تحلیل روند سالانه بارش و درجه حرارت با فرض ثابت بودن عوامل منطقه‌ای نظیر شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی در سرتاسر حوضه آبخیز کشف‌رود، براساس مدل‌های گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم و تحت سناریوهای جدید انتشار با استفاده از روش آزمون غیرپارامتری من-کندال می‌باشد. در این مقاله، پیش‌بینی‌های آتی در سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۳۷-۲۰۰۶)، میانی (۲۰۷۰-۲۰۳۷) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۰) در مقایسه با دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۲) صورت پذیرفت. هدف دوم این پژوهش نیز، مقایسه نتایج مدل‌های گزارش پنجم با یکدیگر و تعیین تغییرات در میزان بارش و درجه حرارت در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه در مقیاس سالانه در تمام نقاط این حوضه می‌باشد. نتایج حاصل از این پژوهش، اطلاعات بسیار مهم و کاربردی را در اختیار مدیران منابع آب در این استان جهت برنامه‌ریزی‌های آتی قرار می‌دهد که از این حیث دارای اهمیت می‌باشد و برای اولین بار در کشور ایران در این منطقه صورت پذیرفته است.

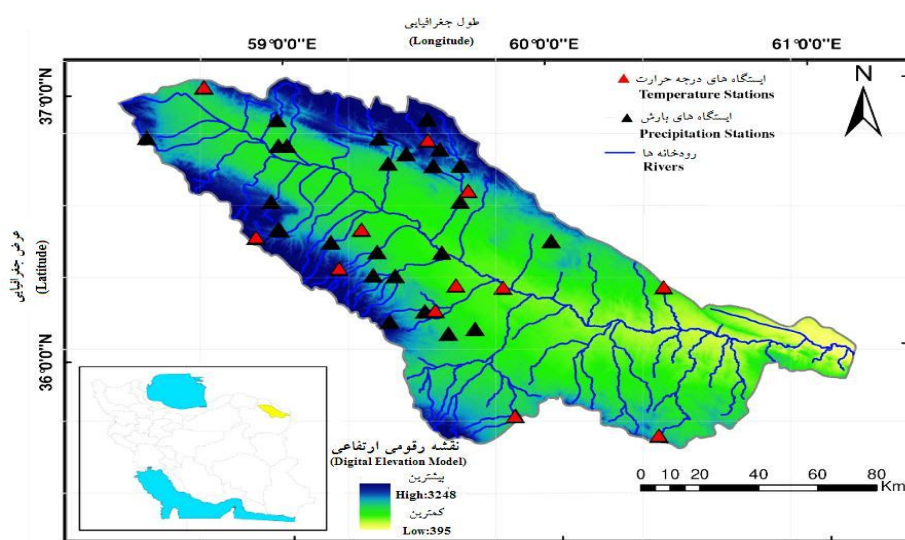
مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی در این پژوهش حوضه آبخیز کشف‌رود می‌باشد که در بخش شمال‌شرقی ایران و در استان خراسان رضوی واقع شده است. کشف‌رود به‌عنوان بزرگ‌ترین حوضه آبخیز استان با مساحتی برابر ۱۶۸۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد که رودخانه کشف‌رود طولانی‌ترین رودخانه این حوضه محسوب

بین‌الدول تغییر اقلیم انجام پذیرفته است (۲۸، ۱۳، ۱۰). در حالی‌که اخیراً بیش‌تر پژوهشگران در سرتاسر جهان با استفاده از گزارش ارزیابی پنجم به بررسی تغییرات اقلیم تحت سناریوهای جدید انتشار در مناطق مختلف پرداخته‌اند (۱۴، ۱۱، ۴). 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 قابل‌توجه بارش می‌باشد که به‌شدت بر روی منابع آب در این مناطق تأثیرگذار خواهد بود (۲۳). هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (۲۰۰۷) بیان می‌دارد که منابع آب قابل دسترس در منطقه خاورمیانه تحت اثر تغییرات اقلیمی، در وضعیت هشداردهنده‌ای قرار دارند (۸). ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و 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 به‌ویژه در آینده مواجه خواهد بود. برخی از مطالعات در رابطه با بررسی تغییرات اقلیمی بر روی حوضه‌های آبخیز ایران و تأثیرات آن بر روی مؤلفه‌های درجه حرارت و بارش در این مناطق در دوره‌های اخیر و آتی بر اساس مدل‌های ارزیابی گزارش چهارم انجام پذیرفته است که دارای قدرت تفکیک‌پذیری پائین و از سناریوهای انتشار قدیمی‌تر نسبت به گزارش ارزیابی پنجم استفاده می‌نماید (۲۷، ۹، ۲). بنابراین به‌نظر می‌رسد که مطالعات تغییر اقلیم در حوضه‌های آبخیز ایران توسط مدل‌های اقلیمی با وضوح بالا و به‌ویژه توسط مدل‌های گزارش پنجم و تحت سناریوهای جدید انتشار امری ضروری

میانگین درجه حرارت حداکثر و حداقل سالانه نیز به ترتیب $20/6^{\circ}\text{C}$ و $7/1$ می‌باشد. بنابراین تمرکز بر روی تغییرات اقلیم در این منطقه در دوره‌های زمانی گذشته و حال حاضر و نیز در بازه‌های زمانی آینده، دارای اهمیت می‌باشد. موقعیت منطقه مطالعاتی و ایستگاه‌های هواشناسی شامل داده‌های مشاهداتی روزانه بارش، درجه حرارت متوسط، حداکثر و حداقل برای دوره زمانی پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۲) در شکل ۱ نشان داده شده است.

می‌شود. از لحاظ موقعیت جغرافیایی، کشف‌رود در عرض جغرافیایی 35° درجه و 35 دقیقه تا 37° درجه و 7 دقیقه و طول جغرافیایی 58° درجه و 15 دقیقه تا 61° درجه و 13 دقیقه واقع شده است. حوضه فوق دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک با بارش‌های سالانه کم و تبخیر و تعرق بالا می‌باشد. اغلب بارش‌ها در این حوضه در بین ماه‌های دی تا اردیبهشت رخ می‌دهد. میانگین بارش سالانه حوضه تقریباً برابر $340/13$ میلی‌متر و با نوسانات قابل توجه می‌باشد، همچنین



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز کشف‌رود و ایستگاه‌های مشاهداتی.

Figure 1. Location of Kashafrud watershed basin and observed stations.

گازهای گلخانه‌ای استفاده می‌کند که در جدول ۲ اطلاعات آن‌ها ارائه شده است. سناریوهای جدید انتشار بر اساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ بنا نهاده شده‌اند. این سناریوها شامل چهار سناریو با نام‌های RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5 می‌باشند (۲۴). به‌عنوان مثال در RCP2.6، که کم‌ترین RCP می‌باشد، در آن کل واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ به اوج خود یعنی ۳ وات بر مترمربع خواهد رسید و بعد از آن روند کاهشی را دنبال می‌کند. در سناریوی RCP4.5، که یک سناریوی ثابت با افزایش

شصت و یک مدل اقلیمی به‌منظور شبیه‌سازی دوره‌های زمانی پایه و آینده در گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم به‌کار رفته است که از بین این مدل‌ها، ۱۴ مدل برای پژوهش حاضر انتخاب گردید. اطلاعات کلی هر یک از ۱۴ مدل به همراه مؤسسات پژوهشی آن‌ها در جدول ۱ خلاصه شده است.

بر خلاف گزارش ویژه سناریوهای انتشار استفاده شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم (SRES)، گزارش ارزیابی پنجم از نماینده خطوط سیر غلظت

که داده‌های اقلیمی از اول ژانویه ۱۹۶۰ تا دسامبر ۲۰۰۵ میلادی به‌عنوان دوره تاریخی و از اول ژانویه ۲۰۰۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۱۰۰ میلادی برای سناریوهای انتشار آینده در نظر گرفته شده‌اند).

نیروی واداشت تابشی کل تا سال ۲۰۷۰ و با غلظت‌های پایدار بعد از سال ۲۰۷۰ می‌باشد. همچنین سناریوی RCP8.5، به‌طور مداوم در حال افزایش نیروی واداشت تابشی تا انتهای قرن ۲۱ و تقریباً برابر ۸/۵ وات بر مترمربع می‌باشد (۲۶) (شایان ذکر است

جدول ۱- مدل‌ها و مؤسسات آماده‌سازی پروژه گزارش پنجم.

Table 1. Models and preparation Fifth Report Project Institute.

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

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).

غلظت دی‌اکسیدکربن (قسمت در میلیون) CO ₂ (ppm)	واداشت تابشی Forcing Radiative (W/m ²)	سناریو (Scenario)
۴۹۰ ppm قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می‌یابد (490 ppm before 2100 and then decline)	حداکثر مقدار آن ۳ وات بر مترمربع و سپس کاهش می‌یابد (Peak at 3 W/m ² and then decline)	RCP2.6
۶۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند (650 ppm and stabilization after 2100)	۴/۵ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند (4.5 W/m ² and stabilization after 2100)	RCP4.5
۸۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند (850 ppm and stabilization after 2100)	۶/۵ وات بر مترمربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می‌ماند (6.5 W/m ² and stabilization after 2100)	RCP6.0
۱۳۷۰ ppm تا سال ۲۱۰۰ (1370 ppm by 2100)	بیش‌تر از ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ (Rising up to 8.5 W/m ² by 2100)	RCP8.5

فضایی تصحیح اریبی استفاده گردید (۳). بنابراین، تمامی خروجی‌های ۱۴ مدل گزارش پنجم با استفاده از این تکنیک به شبکه‌هایی با قدرت تفکیک‌پذیری ۰/۵ درجه به‌منظور 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 نرم‌افزار 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 به‌صورت وزن‌دهی مکانی-مساحتی برای داده‌های بارش به‌عنوان مهم‌ترین مؤلفه در بررسی موضوعات اقلیمی، مدل‌های گزارش پنجم و داده‌های مشاهداتی با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب ناش-ساتکلیف (NS)، درصد ضریب اریبی (PBIAS)، ضریب تبیین (R^2) و جذر نسبت استاندارد شده جذر مجموع مربعات خطا (RSR) (به‌ترتیب براساس رابطه‌های ۱ تا ۴)، مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. همچنین محدوده مناسب هر یک از ضرایب ارزیابی فوق در جدول ۳ ارائه شده است.

مدل‌های گردش عمومی جو یک فرصت مناسب جهت ارزیابی و بررسی اقلیم آینده تحت خطوط سیر مختلف یا سناریوهای واداشت تابشی را فراهم می‌آورند. این مدل‌ها دارای وضوح نسبتاً پائین بوده (تفکیک‌پذیری درشت) و برای مطالعات منطقه‌ای و محلی مناسب نمی‌باشند. بنابراین، خروجی این مدل‌ها باید به‌منظور فراهم شدن جهت استفاده در مقیاس منطقه‌ای ریزمقیاس شوند. ریزمقیاس‌نمایی به‌منظور تجزیه و تحلیل روند هیدرولوژیکی منطقه‌ای به دو رویکرد دینامیکی و آماری تقسیم‌بندی می‌شوند. در این پژوهش از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری استفاده گردید که خود شامل روش‌های مختلفی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به روش جداسازی فضایی تصحیح اریبی (BCSD)^۱ و روش آنالوگ‌های ساخته شده تصحیح شده اریبی (BCCA)^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 عمومی جو و در گام زمانی ماهانه محاسبه می‌گردد. در مرحله دوم، ریزمقیاس‌نمایی فضایی از شبکه مدل‌های گردش عمومی به شبکه مورد نظر (محلی یا منطقه‌ای) انجام می‌پذیرد و در مرحله سوم خروجی‌ها با مقیاس‌های ماهانه به مقیاس زمانی روزانه به‌طور موقت جداسازی می‌گردند. در این پژوهش به‌منظور ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش و درجه حرارت از روش جداسازی

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

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

1- Bias Correction Spatial Disaggregation

2- Bias Corrected Constructed Analogs

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

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

که در آن‌ها، $x_{obs,t}$ و $y_{model,t}$ به ترتیب مقادیر به ترتیب میانگین مقادیر داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی مدل‌های گزارش پنجم در واحد زمانی t و \bar{x}_{obs} و \bar{y}_{model} نیز می‌باشد.

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

Table 3. Criteria Evaluation and performance ratings range (17).

ضرایب ارزیابی (Evaluation Criteria)				ارزیابی (Evaluation)
جذر نسبت استاندارد (RSR)	ضریب تبیین (R ²)	درصد اریبی (PBIAS)	ناش - ساتکلیف (NS)	
0 ≤ RSR ≤ 0.5	0.866 ≤ R ² < 1	PBIAS ≤ ±10	0.75 < NS ≤ 1	خیلی خوب (Very Good)
0.5 < RSR ≤ 0.6	0.733 ≤ R ² < 0.866	±10 ≤ PBIAS ≤ ±15	0.65 < NS ≤ 0.75	خوب (Good)
0.6 ≤ RSR ≤ 0.7	0.6 ≤ R ² < 0.733	±15 ≤ PBIAS ≤ ±25	0.5 < NS ≤ 0.65	قابل قبول (Satisfactory)
RSR > 0.7	R ² < 0.6	PBIAS ≥ ±25	NS < 0.5	عدم قبول (Unsatisfactory)

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:

از آن‌جا که هدف از این پژوهش تجزیه و تحلیل روند تغییرات بارش و درجه حرارت در چهار مدل گزارش پنجم می‌باشد، بنابراین از آزمون غیرپارامتری من- کندال استفاده گردید. آزمون فوق یک روش آماری است که به طور گسترده‌ای برای تشخیص روند تغییرات در پارامترهای هیدرولوژیکی و هواشناسی و زمانی که ایستگاه‌های مختلف در یک منطقه مطالعاتی

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

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

نرمال استاندارد) بیشتر باشد، روند تغییرات قابل ملاحظه و معنی‌دار می‌باشد. در این پژوهش نیز از سطوح معنی‌دار ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۵ و ۰/۰۱ (معادل سطوح اعتماد ۹۹/۹، ۹۹، ۹۵ و ۹۰ درصد) به‌منظور تجزیه و تحلیل نتایج استفاده گردید.

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

حوضه آبخیز کشف‌رود انتخاب گردید (براساس مقادیر معرفی شده در جدول ۴ که براساس داده‌های ماهانه بارش تهیه گردیده است). همچنین انطباق داده‌های شبیه‌سازی شده در چهار مدل اقلیمی با داده‌های مشاهداتی در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

که در آن‌ها، X_i و X_j داده‌های مربوط به نقاط i ام و j ام می‌باشند. آزمون آماری Z_C به‌صورت رابطه زیر بیان می‌گردد که مقادیر مثبت (یا منفی) برای Z_C نشان‌دهنده یک روند رو به بالا (یا رو به پایین) می‌باشد α سطح معنی‌داری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و اگر Z_C از $Z_{\alpha/2}$ (آماره توزیع

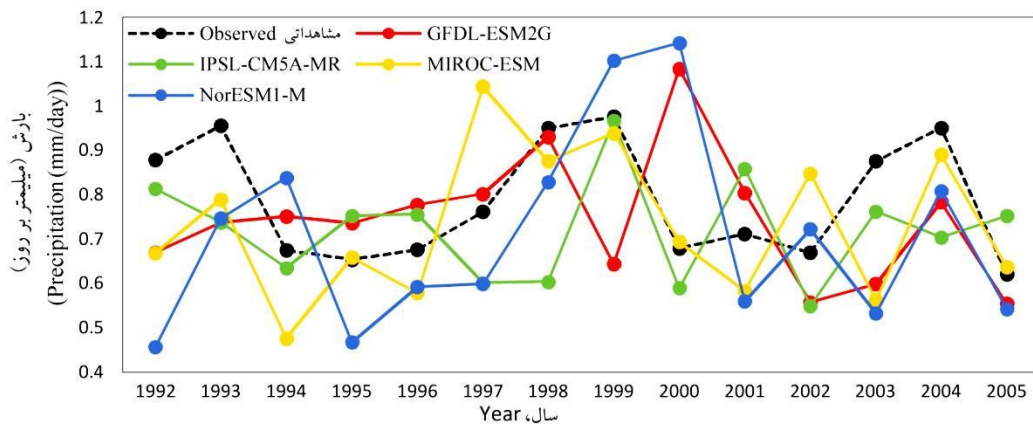
نتایج و بحث

با توجه به محدوده مناسب هر یک از ضرایب ارزیابی مدل‌ها (مطابق جدول ۳)، در نهایت از بین ۱۴ مدل اقلیمی گزارش پنجم، چهار مدل MIROC-ESM، NorESM1-M، GFDL-ESM2G و IPSL-CM5A-MR به‌عنوان مدل بهینه اقلیمی در

جدول ۴- نتایج عملکرد معیارهای ارزیابی برای ۱۴ مدل گزارش پنجم در مؤلفه بارش.

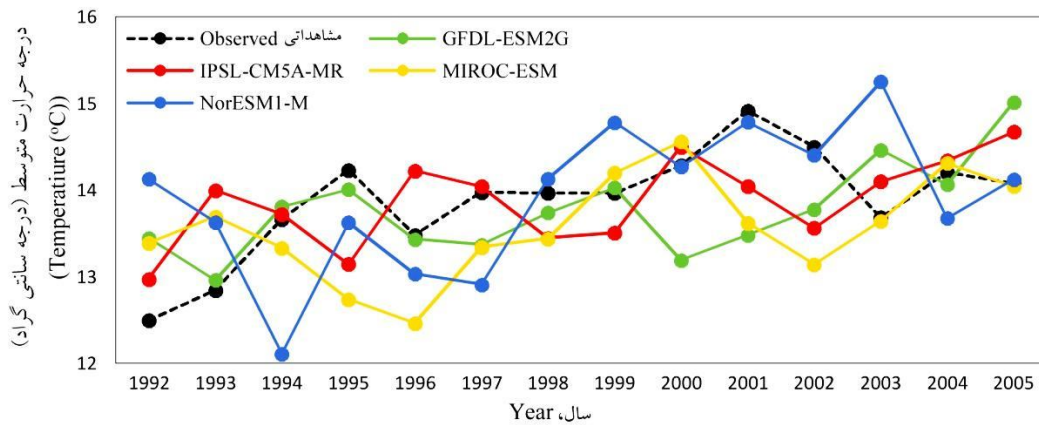
Table 4. Reported performance rating of evaluation criteria for 14 models of Fifth Report in Precipitation.

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



شکل ۲- انطباق چهار مدل گزارش پنجم و داده‌های مشاهده‌ای برای مؤلفه بارش در حوضه آبخیز کشف‌رود.

Figure 2. Adaption between four CMIP5 models and observed data for precipitation component.



شکل ۳- انطباق چهار مدل گزارش پنجم و داده‌های مشاهده‌ای برای مؤلفه درجه حرارت متوسط در حوضه آبخیز کشف‌رود.

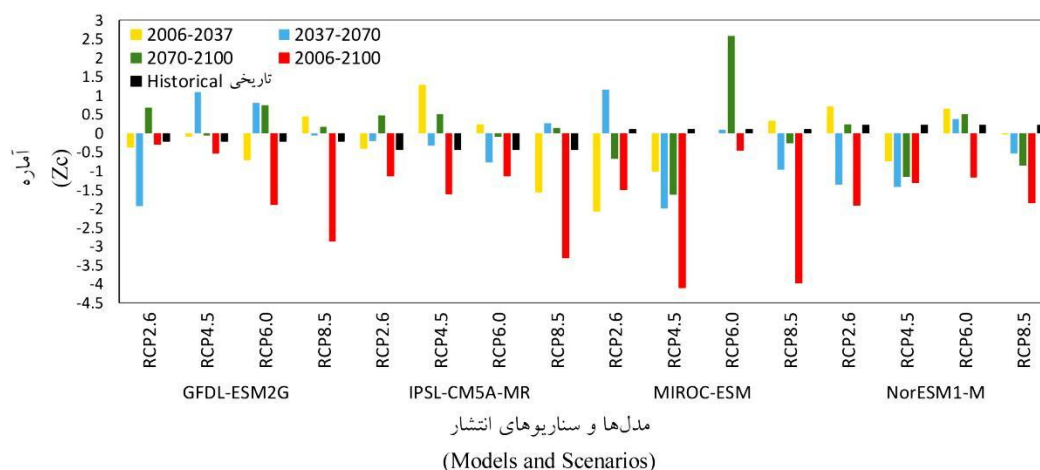
Figure 3. Adaption between four CMIP5 models and observed data for mean temperature component.

سه دوره زمانی ارائه شده است. در دوره زمانی آینده نزدیک تنها در مدل MIROC-ESM (RCP2.6) روند منفی (کاهش) معنی‌دار و در سطح اطمینان ۹۵ درصد مشاهده گردید (Zc برابر ۲/۰۷۳-). در دوره زمانی آینده میانی، در مدل‌های MIROC-ESM (RCP4.5) و مدل GFDL-ESM2G (RCP2.6)، روند منفی معنی‌دار و به ترتیب در سطوح اطمینان ۹۵ درصد (Zc برابر ۱/۹۳۷-) و ۹۰ درصد (Zc برابر ۲/۰۰۶-) و در دوره زمانی آینده دور نیز تنها در مدل MIROC-ESM (RCP6.0) روند مثبت (افزایش) معنی‌دار و در سطح اطمینان ۹۹ درصد (Zc برابر

تجزیه و تحلیل روند سالانه مدل‌های گزارش پنجم تحت چهار سناریوی انتشار و در سه دوره زمانی آینده در مقایسه با دوره پایه (تاریخی) برای مؤلفه‌های اقلیمی در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است (مطابق مراحل اول و دوم استخراج داده‌های تاریخی، اطلاعات داده‌های آینده نیز استخراج و درونیابی گردید). در شکل ۴، با توجه به بررسی روند تغییرات به کمک آزمون من-کنندال، آزمون آماری Zc هیچ روند آماری معنی‌داری از مؤلفه بارش را در اکثر مدل‌ها و سناریوها از خود نشان نداده است. به‌منظور درک مناسب از نحوه تغییرات بارش سالانه، نتایج در

۹۹/۹ درصد مشاهده گردید که شامل مدل‌های IPSL-CM5A-GFDL-ESM2G (RCP6.0,8.5) MIROC-ESM (RCP4.5,8.5) MR (RCP8.5) و NorESM1-M (RCP2.6,8.5) می‌باشند. مقایسه بین دوره‌های آینده و پایه در برخی از سناریوهای انتشار، یک روند منفی معنی‌دار را نشان می‌دهند که بیانگر آن است که مقادیر بارش تا انتهای قرن ۲۱ در حوضه آبخیز کشف‌رود کاهش خواهد یافت (شکل ۴).

۲/۵۸۳ مشاهده شد. علاوه بر این، آزمون آماری Zc در کل دوره زمانی آینده (۲۰۰۶-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۹۲) در اکثر مدل‌ها و سناریوها (۹ تا از ۱۶ سناریو یا ۵۶ درصد) یک روند منفی بدون معنا را در مؤلفه بارش در سرتاسر منطقه مطالعاتی از خود نشان داد (زیرا آزمون آماری Zc در این مدل‌ها کم‌تر از شاخص مبنای ۱/۷۵ می‌باشد) و از میان مدل‌ها و سناریوهای باقی‌مانده (۷ تا از ۱۶ سناریو یا ۴۴ درصد)، روند منفی معنی‌دار و در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۹ و



شکل ۴- روند سالانه بارش در چهار مدل گزارش پنجم تحت سناریوها و دوره‌های زمانی مختلف.

Figure 4. Annual Trend of Precipitation in four CMIP5 models under different times and RCPs.

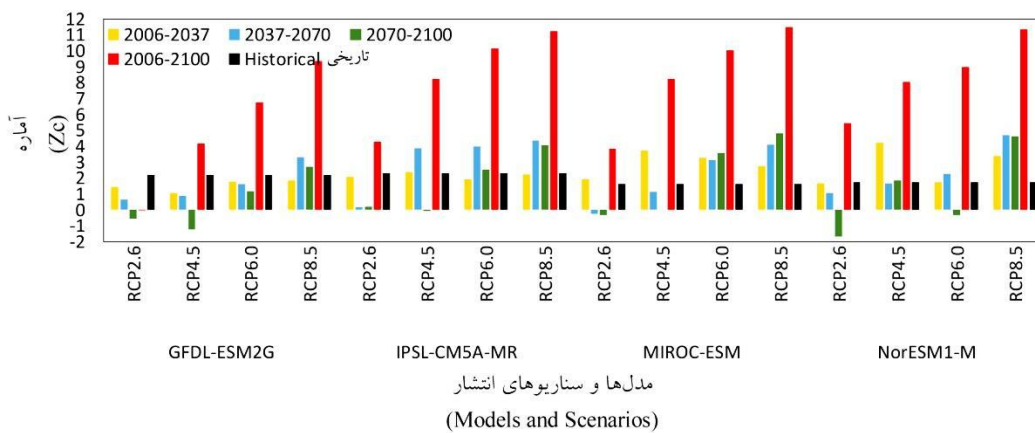
(RCP4.5,8.5) بیش‌ترین روند مثبت را با سطح اطمینان خوبی شبیه‌سازی می‌نمایند (Zc به‌ترتیب برابر ۳/۷۳۹، ۴/۲۱۵ و ۳/۳۹۹ می‌باشد).

در آینده میانی، روند مثبت معنی‌دار و در سطح اطمینان ۹۹/۹ درصد در مدل‌های GFDL-ESM2G (RCP8.5) MIROC-IPSL-CM5A-MR (RCP4.5,6.0,8.5) NorESM1-M (RCP6.0,8.5) و ES (RCP6.0,8.5) مشاهده گردید (Zc به‌ترتیب برابر ۳/۸۸۹، ۳/۹۸۲، ۴/۳۵۳، ۳/۱۱۴، ۴/۱۰۶، ۲/۲۷۷ و ۴/۶۹۴ می‌باشد) و در دوره زمانی آینده دور، روند مثبت معنی‌دار و در سطح اطمینان ۹۹ درصد نیز در

در شکل ۵، روند تغییرات درجه حرارت متوسط نشان می‌دهد که اکثر مدل‌ها به‌جزء مدل NorESM1-M (RCP2.6) دارای روند مثبت معنی‌دار و در سطح اطمینان ۹۰ درصد می‌باشند و تنها تعداد کمی از مدل‌ها و در دوره زمانی آینده دور، روند منفی بدون معنی را از خود نشان می‌دهند. در آینده نزدیک، تمامی مدل‌ها به‌جزء مدل GFDL-ESM2G (RCP2.6,4.5) دارای یک روند مثبت معنی‌دار و در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۵، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد می‌باشند. همچنین، مدل‌های NorESM1-M و MIROC-ESM (RCP4.5)

سالانه به کمک آزمون من- کندال نشان می‌دهد که میزان بارش تحت گرمایش در دوره‌های زمانی آینده تا پایان قرن ۲۱ در این حوضه، کاهش می‌یابد. بیش‌ترین روند منفی در مؤلفه بارش و بیش‌ترین روند مثبت در مؤلفه‌های درجه حرارت در تمامی مدل‌ها، تحت بیش‌ترین مسیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP8.5) حاصل می‌گردد.

مدل‌های (RCP8.5) GFDL-ESM2G، IPSL-CM5A-MR (RCP6.0,8.5)، MIROC-ESM و NorESM1-M (RCP4.5,8.5) و (RCP6.0,8.5) رخ می‌دهد (Zc به ترتیب برابر ۲/۷۱۹، ۲/۵۱۵، ۴/۰۷۹، ۳/۵۶۹، ۴/۸۲۶، ۱/۸۳۵ و ۴/۶۲۳ می‌باشد). از طرف دیگر، در کل دوره زمانی آینده، تمامی مدل‌ها (به‌جز یک مدل، مطابق شکل ۵) از یک روند مثبت معنی‌دار خوبی پیروی می‌کنند. تجزیه و تحلیل روند



شکل ۵- روند سالانه درجه حرارت متوسط در چهار مدل گزارش پنجم و تحت سناریوهای مختلف.

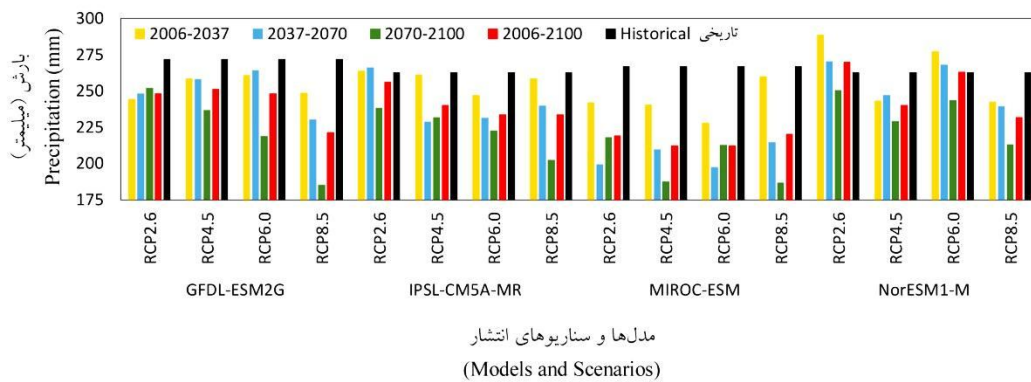
Figure 5. Annual Trend of Mean Temperature in four CMIP5 models under different times and RCPs.

می‌دهد که بارش در اغلب مدل‌ها و سناریوهای کم‌تر از دوره پایه آن‌ها بوده (مطابق شکل ۶) و تنها در برخی مدل‌ها و سناریوهای، میزان بارش بیشتر از دوره پایه آن‌ها می‌باشد که این مدل‌ها در آینده نزدیک و میانی به ترتیب شامل مدل‌های (RCP2.6) IPSL-CM5A-MR و (RCP2.6,6.0) NorESM1-M می‌باشد (بارش سالانه به ترتیب در آینده نزدیک برابر ۲۶۳/۶۷، ۲۶۶/۲۹، ۲۸۸/۷۷ میلی‌متر و در آینده میانی در سه مدل فوق برابر ۲۷۰/۳۷، ۲۶۹/۸۳، ۲۷۷/۲۹ میلی‌متر می‌باشد که درصد افزایش بارش در آن‌ها به ترتیب برابر ۰/۳۳، ۱/۳۲، ۹/۹۱، ۲/۹۱، ۲/۷۱ و ۵/۵۴ می‌باشد) و در کل دوره زمانی آینده نیز افزایش بارش در مدل (RCP2.6, 6.0) NorESM1-M خواهد

در بخش قبل، تجزیه و تحلیل روند تغییرات مؤلفه‌های اقلیمی در حوضه آبخیز کشف‌رود با استفاده از مدل‌های گزارش پنجم و تحت چهار سناریوی انتشار مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش، مقادیر مؤلفه‌های اقلیمی در منطقه مطالعاتی در دوره‌های آتی و به‌منظور درک بهتر تغییر شرایط حوضه تا پایان قرن ۲۱ توسط این مؤلفه‌ها، مورد ارزیابی و مقایسه قرار می‌گیرد. مقادیر سالانه بارش و درجه حرارت متوسط در مدل‌های گزارش پنجم و تحت چهار سناریوی انتشار در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است و نتایج این بخش با اطلاعات دوره پایه (تاریخی) در هر مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. مقایسه نتایج بین دوره‌های آینده و دوره پایه نشان

بارش کاسته خواهد شد (درصد کاهش به ترتیب برابر ۹/۱، ۶/۹ و ۱/۹ می‌باشد) و تنها در مدل NorESM1-M میزان بارش افزایش خواهد یافت (درصد افزایش برابر ۰/۰۸ می‌باشد)، در آینده میانی، در مدل‌های IPSL-CM5A-MR، MIROC-ESM و GFDL-ESM2G و NorESM1-M از میزان بارش کاسته خواهد شد (درصد کاهش به ترتیب برابر ۲۳/۱، ۸/۱، ۷/۹ و ۲/۵ می‌باشد) و همچنین در آینده دور، در مدل‌های MIROC-ESM، GFDL-ESM2G، IPSL-CM5A-MR و NorESM1-M نیز بارش‌ها کاهش می‌یابند (درصد کاهش به ترتیب برابر ۲۴/۶، ۱۷/۸، ۱۴/۸ و ۱۰/۹ می‌باشد). نهایتاً در کل دوره زمانی آینده نیز در مدل‌های IPSL-CM5A-MR، MIROC-ESM و NorESM1-M بارش کاهش خواهد یافت (درصد کاهش به ترتیب برابر ۱۹/۱، ۱۰/۸، ۸/۳ و ۴/۴ می‌باشد). میانگین بارش در دوره تاریخی در تمامی مدل‌ها (۲۲۶/۱ میلی‌متر) نشان می‌دهد که بیش‌ترین درصد کاهش بارش به ترتیب در آینده دور، میانی و نزدیک رخ می‌دهد که درصد کاهش به ترتیب برابر ۱۷/۱، ۱۰/۴ و ۴/۵ می‌باشد. به‌طور خلاصه، در کل دوره زمانی آینده و در مقایسه با دوره پایه نتایج بیانگر آن است که میزان بارش در کل حوضه به میزان ۱۰/۷ درصد کاهش خواهد یافت. در نتیجه، انتظار می‌رود که بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش بارش در مدل MIROC-ESM و NorESM1-M و تحت تمامی سناریوهای انتشار رخ دهد، در حالی که میزان بارش در مدل NorESM1-M تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP6.0 افزایش خواهد یافت.

داد (بارش به ترتیب برابر ۲۶۸/۲۳ و ۲۶۳/۱۲ میلی‌متر و درصد افزایش بارش نیز به ترتیب برابر ۲/۱ و ۰/۱۵ می‌باشد). بیش‌ترین و کم‌ترین میزان کاهش بارش سالانه به ترتیب در آینده دور در مدل GFDL-ESM2G (RCP8.5) و در آینده نزدیک در مدل IPSL-CM5A-MR (RCP4.5) اتفاق خواهد افتاد (بارش به ترتیب برابر ۱۸۵/۵ و ۲۶۱/۱ میلی‌متر و درصد کاهش آن به ترتیب برابر ۳۱/۸ و ۰/۶۷ می‌باشد) و همچنین بیش‌ترین میزان افزایش بارش سالانه در آینده نزدیک در مدل NorESM1-M (RCP2.6) رخ خواهد داد (بارش برابر ۲۸۸/۷ میلی‌متر و درصد افزایش نیز برابر ۹/۹ می‌باشد). با توجه به شکل ۶ و در مقایسه با دوره پایه در هر مدل باید این‌گونه بیان نمود که در تمامی دوره‌های آینده، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد بارش تحت سناریوی انتشار RCP2.6 به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM و NorESM1-M (۱۹/۲ و ۰/۷۴ درصد) و تحت سناریوی انتشار RCP4.5، به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM و GFDL-ESM2G (۲۱/۸ و ۷/۶ درصد)، تحت سناریوی انتشار RCP6.0، به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM و NorESM1-M (۲۱/۱ و ۳/۲ درصد) و تحت سناریوی انتشار RCP8.5، به ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM و IPSL-CM5A-MR (۱۸/۹ و ۱۴ درصد) رخ خواهد داد. از طرف دیگر، با در نظر گرفتن میانگین مقادیر بارش در تمامی سناریوهای انتشار در هر مدل و در هر دوره زمانی آینده و مقایسه آن با دوره پایه آن مدل، می‌توان گفت، در آینده نزدیک، در مدل‌های MIROC-ESM، IPSL-CM5A-MR و GFDL-ESM2G از میزان



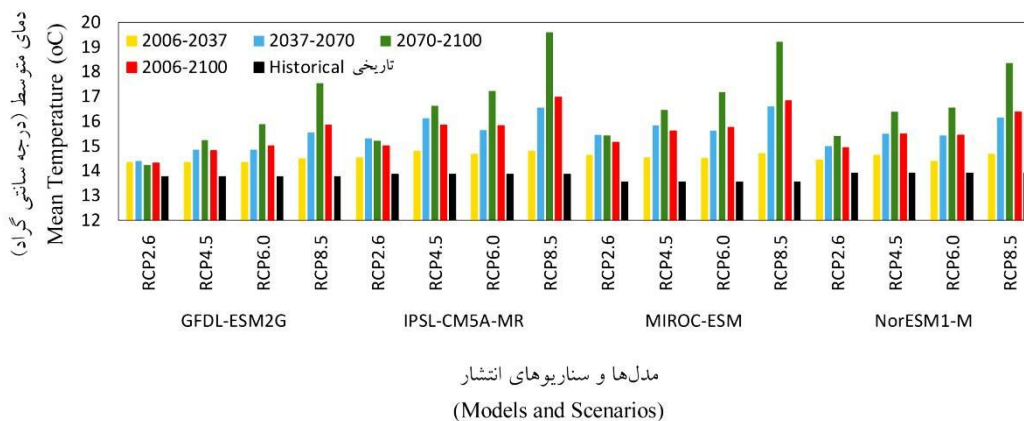
شکل ۶- مقایسه مقادیر بارش سالانه در چهار مدل گزارش پنجم و تحت چهار سناریوی انتشار.
Figure 6. Annual Precipitation in four CMIP5 models under different RCPs.

در مدل IPSL-CM5A-MR (به ترتیب برابر ۱۹/۶ درجه سانتی‌گراد) و در کل دوره زمانی آینده در مدل‌های IPSL-CM5A-MR و MIROC-ESM (به ترتیب برابر ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد) مشاهده می‌گردد. کم‌ترین مقدار درجه حرارت متوسط تحت سناریوی انتشار RCP2.6 رخ می‌دهد. به‌عنوان مثال، کم‌ترین مقدار این مؤلفه در آینده میانی، دور و همچنین در کل دوره زمانی آینده در مدل GFDL-ESM2G (به ترتیب برابر ۱۴/۲ درجه سانتی‌گراد) حاصل خواهد شد. با توجه به شکل ۷ می‌توان این‌گونه بیان نمود که در تمامی دوره‌های زمانی آینده و برای مؤلفه درجه حرارت، بیش‌ترین و کم‌ترین درصد افزایش درجه حرارت در مدل‌های MIROC-ESM و GFDL-ESM2G رخ خواهد داد. به‌طور خلاصه، این درصدها در دو مدل فوق، تحت سناریوی انتشار RCP2.6 به ترتیب برابر ۱۱/۸ و ۴/۱، تحت سناریوی انتشار RCP4.5 به ترتیب برابر ۱۵/۱ و ۷/۶، تحت سناریوی انتشار RCP6.0 به ترتیب برابر ۱۶/۳ و ۹/۱ و در نهایت تحت سناریوی انتشار RCP8.5 به ترتیب برابر ۲۴/۲ و ۱۵/۲ می‌باشد. همچنین، در مقایسه با دوره زمانی پایه در هر مدل و در تمامی سناریوها، نتایج نشان داد که درجه حرارت متوسط در مدل‌های GFDL-ESM2G، NorESM1-M،

بررسی درجه حرارت متوسط نشان می‌دهد که درجه حرارت در کل حوضه کشف‌رود در تمامی مدل‌ها و سناریوها افزایش پیدا می‌کند و در آینده دور مقادیر این پارامتر بیش‌تر از دیگر دوره‌های زمانی آینده خواهد بود و همچنین در سناریوی انتشار RCP8.5 نیز این مؤلفه بیش‌تر از سایر سناریوها خواهد بود. این نتایج نشان می‌دهد که با گذشت زمان، با افزایش بیش از حد انتشار گازهای گلخانه‌ای، درجه حرارت یک روند مثبت را دنبال می‌نماید و تا انتهای قرن ۲۱ به بیش‌ترین مقدار خود خواهد رسید که این پدیده باعث می‌شود که بارش سالانه در این حوضه کاهش یابد (شکل‌های ۶ و ۷). با توجه به شکل ۷ باید بیان شود که در تمامی دوره‌های زمانی آینده به‌جزء آینده نزدیک افزایش درجه حرارت تحت سناریوی انتشار RCP2.6 آغاز و تحت سناریوی انتشار RCP8.5 ادامه خواهد یافت، اما در آینده نزدیک افزایش درجه حرارت متوسط از یک روند ثابتی پیروی می‌نماید (۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد). بیش‌ترین مقدار درجه حرارت متوسط تحت سناریوی انتشار RCP8.5 رخ می‌دهد، به‌عنوان مثال، بیش‌ترین مقدار مؤلفه درجه حرارت متوسط، در آینده میانی در مدل‌های IPSL-CM5A-MR و MIROC-ESM (به ترتیب برابر ۱۶/۶ درجه سانتی‌گراد)، در آینده دور

داده‌ها در هر دوره زمانی آینده و نیز دوره پایه در تمامی مدل‌ها می‌توان گفت، به ترتیب در آینده نزدیک، میانی، دور و نیز در کل دوره زمانی آینده، درجه حرارت متوسط به ترتیب برابر ۱۴/۶، ۱۵/۵، ۱۶/۷ و ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد (میانگین کل داده‌های تاریخی برابر ۱۳/۸ درجه سانتی‌گراد) خواهد بود. به‌طور کلی، در مقایسه با دوره پایه، در کل دوره زمانی آینده میانگین درجه حرارت متوسط ۱۳/۱ درصد افزایش یافته که در نتیجه درجه حرارت در تمام حوضه آبخیز کشف‌رود بین ۰/۵۶ تا ۳/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت.

IPSL-CM5A-MR و MIROC-ESM افزایش خواهد یافت. به‌عنوان مثال، افزایش میزان درجه حرارت متوسط در هر مدل در آینده نزدیک به ترتیب مدل‌ها برابر ۴/۵، ۴/۵، ۶ و ۷/۶ درصد، در آینده میانی برابر ۸/۴، ۱۱/۵، ۱۴/۷ و ۱۷/۱ درصد، در آینده دور برابر ۱۴/۲، ۱۹/۸، ۲۳/۷ و ۲۵/۸ درصد و در کل دوره زمانی آینده برابر ۹، ۱۱/۹، ۱۴/۸ و ۱۶/۹ درصد می‌باشد. بنابراین، می‌توان گفت بیش‌ترین و کم‌ترین درصد افزایش درجه حرارت متوسط در مدل‌های MIROC-ESM و GFDL-ESM2G رخ خواهد داد. از طرف دیگر با در نظر گرفتن میانگین تمامی



شکل ۷- مقایسه مقادیر درجه حرارت متوسط سالانه در چهار مدل گزارش پنجم و تحت چهار سناریوی انتشار.

Figure 7. Annual Mean Temperature in four CMIP5 models under different RCPs.

متغیر مثبت و منفی معنی‌دار و در سطوح اطمینان ۹۰، ۹۹ و ۹۹/۹ درصد پیروی می‌کند. روند معنی‌دار رو به پائین در آینده نزدیک، میانی و کل دوره زمانی آینده و روند معنی‌دار رو به بالا در آینده دور مشاهده گردید. در رابطه با مؤلفه‌های درجه حرارت نیز می‌توان گفت، اغلب مدل‌ها یک روند معنی‌دار رو به بالا و در سطح اعتماد ۹۹/۹ درصد را نشان دادند که این روند از سناریوی انتشار RCP2.6 تا RCP8.5 افزایش می‌یابد. همچنین، برخی مدل‌ها در آینده میانی و دور، روند معنی‌دار رو به پائین و در سطوح اعتماد

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر، به‌منظور بررسی تغییرات اقلیم حوضه آبخیز کشف‌رود از مدل‌های گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم و سناریوهای جدید انتشار در سه بازه زمانی آینده و تا انتهای قرن ۲۱ بهره گرفته شد. همچنین، به‌منظور روشن نمودن روند تغییرات سالانه مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت به‌عنوان ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی از آزمون غیرپارامتری من-کندال استفاده گردید. نتایج نشان داد که بارش برخی مدل‌ها و سناریوها از یک روند

این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر درجه حرارت و بارش تا انتهای قرن ۲۱ در حوضه آبخیز کشف‌رود به‌ترتیب افزایش و کاهش پیدا خواهد کرد. در پژوهش حاضر تغییرات اقلیم حوضه آبخیز کشف‌رود با فرض ثابت بودن شیب، پوشش گیاهی و کاربری اراضی صورت پذیرفت. بنابراین، پیشنهاد می‌گردد که در پژوهش‌های بیشتر، عدم قطعیت‌های مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم و با در نظر گرفتن همه عوامل محیطی فوق و به‌منظور درک بهتری تغییرات اقلیم آبی در سرتاسر حوضه مطالعاتی فوق انجام پذیرد.

۹۰ و ۹۵ درصد را از خود نشان دادند. انتظار می‌رود که بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش در مؤلفه بارش به‌ترتیب در مدل‌های MIROC-ESM (All RCPs) و NorESM1-M (RCP4.5, 8.5) رخ دهد. مقادیر درجه حرارت متوسط در آینده دور بیش‌تر از سایر دوره‌های زمانی آینده بوده و در سناریوی انتشار RCP8.5 بیش‌تر از سایر سناریوهای انتشار می‌باشد. همچنین بیش‌ترین و کم‌ترین درصد افزایش درجه حرارت در مدل‌های MIROC-ESM و GFDL-ESM2G حاصل خواهد شد. به‌طورکلی،

منابع

- 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. *J. Global Planet Change*. 100: 320-332.
- 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. *J. Hydrol. Process*. 28: 4. 2018-2032.
- 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, 116p.
- 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. *J. Clim*. 26: 11. 3803-3822.
- Cuo, L., Zhang, Y., Zhu, F., and Liang, L. 2015. Characteristics and changes of streamflow on the Tibetan Plateau: a review. *J. Hydrol. Reg. Stud*. 2: 49-68.
- IPCC. 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment (1990)*. Cambridge Univ. Press: Cambridge, UK, 365p.
- IPCC. 2014. *Climate Change 2014 Synthesis Report. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I, II and III to Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. In: R. Pachauri and L. Meyer (eds). Geneva, Switzerland. 151p.
- 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*. In: M.L. Parry, et al (eds). Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK. 976p.
- Javan, K., Nasiri saleh, F., and Taheri Shahraini, H. 2013. The influences of climate change on the runoff Gharesoo River Watershed. *Amer. J. Clim. Change*. 2 :4. 296-305.
- Jiang, Z.H., Chen, W.L., Song, J., and Wang, J. 2009. Projection and evaluation of the precipitation extremes indices over China based on seven IPCC AR4 coupled climate models. *Chine. J. Atm. Sci*. 33: 1. 109-120.
- Kharin, V.V., Zwiers, F.W., Zhang, X., and Wehner, M. 2013. Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble. *J. Clim. Change*. 119: 345-357.
- Kendall, M.G. 1955. *Rank Correlation Methods*. Griffin, London, 196p.

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. *J. Theor Appl. Climatol.* 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. *J. Theor. Appl. Climatol.* 123: 3-4. 859-871.
15. Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *J. 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. *J. Prog Phys. Geog.* 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. *J. Amer. Soc. Agric. Biol. Engin.* 50: 3. 885-900.
18. Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F., Nalicensovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P., and Wilbanks, T.J. 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *J. 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. *Int. J. Climatol.* 36: 4. 1863-1872.
20. Najafi, M.R., Zwiers, F.P., and Gillett, N.P. 2015. Attribution of Arctic temperature change to greenhouse-gas and aerosol influences. *J. Nat. Clim. 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. *J. Hydrol. Reg. Stud.* 3: 285-311.
22. Schubert, S.D., and Lim, Y.K. 2013. Climate variability and weather extremes: Model-simulated and historical data. In: *Extremes in a Changing Climate.* Springer, Netherlands. Pp: 239-285.
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. *Int. J. Climatol.* 33: 14. 3055-3072.
24. Van Vuuren, D.P., Edmonds, J.A., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A.M., Hibbard, K., Hurtt, G.C., Kram, T., Krey, V., Lamarque, J.F., Masuri, T., Meinshausen, M., Nakicenovic, N., Smith, S.J., and Rose, S. 2011. The representative concentration pathways: an overview. *J. Clim. 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. *J. Clim. Dynam.* 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. *J. Global Planet Change.* 78: 3-4. 137-146.
28. Zhao, Z.C., Luo, Y., Jiang, Y., and Xu, Y. 2008. Projections of surface air temperature change in China for the next two decades. *J. Meteorol. Environ.* 24: 5. 1-5. (In Chinese)
29. Woldemeskel, F.M., Sharma, A., Sivakumar, B., and Mehrotra, R. 2015. Quantification of precipitation and temperature uncertainties simulated by CMIP3 and CMIP5 models. *J. Geophysic. Res. Atm.* 121: 1. 3-17.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(6), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Annual assessment of Kashafrud watershed basin climate components in future periods by using fifth report of intergovernmental panel on climate change

***A.H. Aghakhani Afshar¹, Y. Hassanzadeh², A.A. Besalatpour³
and M. Pourreza-Bilondi⁴**

¹Ph.D. Graduate of Hydraulic Structures, Dept. of Civil Engineering, University of Tabriz,
²Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Tabriz, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science,
University of Vali-e-Asr Rafsanjan, ⁴Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, University of Birjand
Received: 05/20/2016; Accepted: 09/06/2016

Abstract

Background and Objectives: Hydrology cycle of river basins and water resources availability in arid and semi-arid regions are highly affected with climate changes. So that in the recent years, increase of temperature due to 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 4 different versions of GCM models including: First Assessment Report models (FAR), Second Assessment Report models (SAR), Third Assessment Report models (TAR) and Fourth Assessment Report models (AR4). The purpose of this study is to survey the annual trend of the future climate components in Kashafrud watershed basin (located in the northeastern part of Iran and in the khorsan razavi province) by using fifth report of Intergovernmental panel on climate change (IPCC) under new emission scenarios.

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 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).

Results: According to performance criteria, among 14 models used in this research, four was chosen as the best namely GFDL-ESM2G, IPSL-CM5A-MR, MIROC-ESM and NorESM1-M which indicated more agreement with observed data. Furthermore, four Representative Concentration Pathways (RCPs) of new emission scenario, namely RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 and RCP8.5 under three future periods: near-century (2006-2037), mid-century (2037-2070) and late-century (2070-2100) were investigated and compared.

Conclusion: The results of Mann-Kendall (MK) test which was applied to examine annual trend, revealed that the precipitation have a variable positive and negative trends which were statistically significant. Also mean, maximum and minimum temperature have a significant positive trend with 90, 99 and 99.9% confidence level. On the other hand, in all parts of the Kashafrud Watershed Basin (KWB), average temperature of watershed increased up to 0.56-3.3 °C and precipitation decreased up to 10.7% until the end of the 21st century in relation with the historical baseline.

Keywords: Annual trend analysis, Climate change, Precipitation and Temperature, CMIP5, RCP scenario

* Corresponding Author; Email: a.h.aghakhani@tabrizu.ac.ir

