

مقایسه ی کارایی مدل های SDSM و CCT در مطالعات تغییر اقلیم (مطالعه موردی حوزه آبخیز کرگانرود)

محمد رضا شیخ ربیعی^۱، حمیدرضا پیروان^۲، پیمان دانشکار آراسته^۳، مهری اکبری^۴، بهارک معتمد وزیری^۵

^۱ دانشجوی دکتری گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

^۲ دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

^۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین المللی امام خمینی، قزوین.

^۴ دانشیار گروه اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران.

^۵ دانشیار گروه جنگل، مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۹/۱۱/۲۶ ، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

چکیده

با توجه به زمان بر بودن و عدم صرفه اقتصادی استفاده از مدل های دینامیکی، استفاده از روش های ریزمقیاس نمایی آماری افزایش یافته است. در این پژوهش نتایج دو مدل ریزمقیاس نمایی CCT و SDSM در شبیه سازی مولفه های اقلیمی روزانه بارش، دمای بیشینه، کمینه و متوسط در حوزه آبخیز کرگانرود در استان گیلان مقایسه شده است. از اطلاعات هواشناسی ایستگاه همدیدی بندرانزلی در دوره ۲۰۱۸-۱۹۷۵ به عنوان دوره مشاهداتی استفاده شد. با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی CCT و مدل اقلیمی MIROC و مدل ریزمقیاس سازی SDSM و مدل اقلیمی CanESM۲، پارامترهای روزانه بارش، دمای بیشینه، کمینه و متوسط منطقه مورد مطالعه تحت سناریوهای RCP۴.۵، RCP۲.۶ و RCP۸.۵ و به ترتیب در سه دوره آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۶، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۱۰۰-۲۰۷۶ شبیه سازی و با دوره مشاهداتی مورد مقایسه قرار گرفت. به منظور بررسی روش های ریزمقیاس نمایی از شاخص های ارزیابی NS ، R^2 و $RMSE$ استفاده شد. براساس معیارهای NS ، R^2 و $RMSE$ ، مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی دمای بیشینه، کمینه و متوسط و در بارش به غیر از مقدار فاکتور $RMSE$ سناریوی RCP۲.۶ و در دوره آتی ۲۰۷۶-۲۰۵۱ در تمامی موارد نسبت به مدل CCT دارای خطای کمتری بوده و بهتر عمل می کند. نتایج حاصل از آزمون من-کندال نشان داد که روند تغییرات بارش و دما شبیه سازی شده در دوره های آتی در مدل CCT، معنی دارتر از مدل SDSM بوده و بیشترین میزان معنی داری به ترتیب مربوط به دمای بیشینه ($Z=۳/۲۲$) و دمای کمینه ($Z=۴/۱۴$) در سطح اطمینان بالای ۹۵ درصد مربوط به RCP۸.۵ می باشد.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، ارزیابی عملکرد، ریزمقیاس نمایی، SDSM، CCT، گزارش پنجم هیات بین الدول

روند افزایشی دمای کره زمین و تغییرات شرایط آب و هوایی مرتبط با آن در کل کره زمین به عنوان تغییر اقلیم شناخته می‌شود. در صورت عدم وجود اقدامات مناسب تعدیل و سازگاری، تغییر اقلیم احتمالاً بخش‌های عمده‌ای از فعالیت‌های جهان را مانند کشاورزی، منابع آب و گردشگری را تحت تأثیر قرار خواهد داد (ضیاء هاشمی و همکاران ۲۰۱۱). تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت آب و هوایی در یک دوره زمانی بلند مدت که در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی رخ دهد، در حالی که در وضعیت عمومی اقلیم، تغییری مشاهده نمی‌شود (سیواکومار و همکاران، ۲۰۰۵). پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم که عمدتاً ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد، اثرات منفی و مخربی را بر جوامع بشری تحمیل می‌کند. براساس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای مختلف، پیش‌بینی می‌شود متوسط دمای جهان طی دوره ۱۹۰۰ تا ۲۱۰۰ بین ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سلسیوس افزایش یابد که این افزایش دما همراه با تغییراتی در الگوهای زمانی و مکانی بارش خواهد بود (سیاری و همکاران، ۱۳۹۰). مدل‌های گردش عمومی جو (GCM^1)، معتبرترین ابزار بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف می‌باشند. این مدل‌ها سه بعدی بوده و قادرند سیستم اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرآیندهای در مقیاس جهانی و یا قاره‌ای شبیه‌سازی کنند. مدل‌های گردش عمومی قابل استفاده در مطالعات کاربردی با ابعاد کوچکتر از خود نیستند و خروجی‌های آنها از دقت مکانی پایینی برخوردارند (قوش و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین برای استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی در مقیاس مناسب و یا حتی در مقیاس ایستگاهی، ریزمقیاس‌نمایی لازم خواهد بود (مینویل و همکاران، ۲۰۰۸). تکنیک‌های ریزمقیاس‌سازی موجود به دو دسته کلی تقسیم‌بندی می‌شوند: آماری و پویا. جزئیات بیشتر در مورد تئوری‌های تکنیک‌های ریزمقیاس‌سازی آماری و پویا و همچنین مزایا و معایب آنها را می‌توان در تحقیقات هیستون و کارن (۱۹۹۶)، ژو (۱۹۹۹)، ویلی و همکاران (۲۰۰۴) و فاولر و همکاران (۲۰۰۷) مشاهده کرد. در میان تکنیک‌های ریزمقیاس‌سازی آماری که توسط متخصصان هیدرولوژی برای

بدست آوردن اطلاعات اقلیمی در مقیاس ایستگاه استفاده می‌شود، مدل‌های رگرسیون چندگانه و مولدهای اقلیمی تصادفی کاربردهای بسیار بیشتری نسبت به بقیه دارند، زیرا از نظر محاسباتی، کاربرد آن ساده و کارآمد است (سمنوف و همکاران ۱۹۹۸؛ دیبیک و کولیبالی ۲۰۰۵؛ کیلسبی و همکاران ۲۰۰۷؛ کیم و همکاران ۲۰۰۷). هیدرولوژیست‌ها برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی، بیشتر از مدل‌های آماری استفاده می‌کنند. روش‌های آماری در مقایسه با روش‌های دینامیکی، به خصوص در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت‌ها و قابلیت‌های بیشتری برخوردار است (ویلکس و ویلی، ۱۹۹۹). معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده اتمسفر-اقیانوس گردش عمومی است. همانطور که گفته شد یکی از ضعف‌های مدل گردش عمومی، بزرگ بودن مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده است. ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مختلف GCM با استفاده از مدل‌ها و نرم‌افزارهای مختلف از جمله $SDSM^2$ و $LARS-WG^3$ و CCT^4 صورت می‌گیرد که CCT یکی از جدیدترین این نرم‌افزارها است. بنابراین، در واقع نیاز به آزمایش ابزارهای ریزمقیاس‌سازی 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 ۲۰۰۸). زمانی نوری و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی عدم قطعیت پارامترهای اقلیمی دما و بارش شبیه‌سازی شده توسط دو مدل ریزمقیاس‌نمایی $LARS-WG$ و $SDSM$ پرداختند و فاصله اطمینان خروجی‌های هر دو مدل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که مدل $LARS-WG$ در شبیه‌سازی بارش دارای عملکرد بهتری نسبت به مدل $SDSM$ می‌باشد و در آینده نزدیک کاهش در بارش را نشان می‌دهد. همچنین

2 Statistical DownScaling Model

3 Long Ashton Reserch Station

4 Climate Change Toolkit

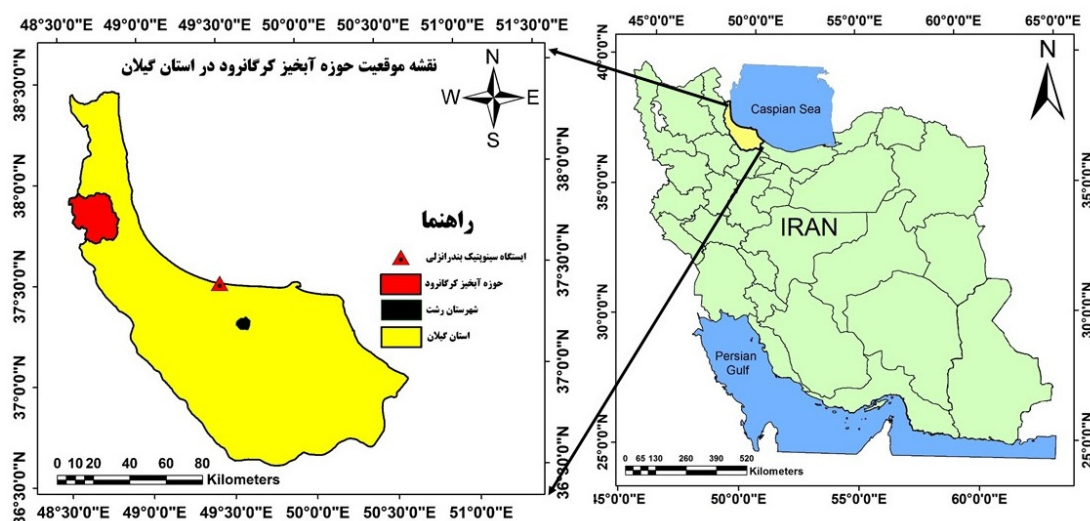
مدل SDSM در شبیه سازی دما دارای عملکرد بهتری بوده و افزایش دما را نشان می دهد. تغییرات دو پارامتر اصلی اقلیم یعنی دما و بارندگی در استان مازندران و غرب استان گلستان با تأکید بر بخش نوار ساحلی دریای خزر و مقایسه آن ها با تغییرات این دو پارامتر در مقیاس نیمکره شمالی و جهانی مورد بررسی قرار گرفت. در ایستگاه رامسر و میانگین منطقه ای و همچنین دو ایستگاه بابلسر و گرگان، دمای متوسط افزایش و بارندگی کاهش یافته که عکس یکدیگر رخ می دهند. این شرایط می تواند تأثیری از افزایش گازهای گلخانه ای در سطح محلی، منطقه ای و جهانی و همچنین فاصله از منبع عظیم آبی دریای خزر باشد (پیرنیا و همکاران، ۱۳۹۴). در لیسبون پرتغال، مقایسه ی دو مدل ریزمقیاس سازی SDSM و LARS-WG برای دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۷۰-۲۰۴۱، خروجی مدل HADCM3 تحت سناریو A2، برای دما و بارش صورت گرفت. یافته ها از برتری مدل SDSM در شبیه سازی دما و مدل LARS-WG در شبیه سازی بارش حکایت دارد (لوپز و همکاران، ۲۰۰۸). در زمینه بررسی آزمون های عدم قطعیت مربوط به سه مدل SDSM، LARS-WG و ANN با تأکید بر تفاوت های میانگین و واریانس ماهانه در داده های مشاهداتی و ریزمقیاس شده برای دما و بارش علاوه بر آن، توزیع فراوانی تجمعی میانگین ماهانه ی بارش، توزیع روزهای خشک و مرطوب و میانگین ماهانه ی طول دوره ی خشک و مرطوب در سطح ۹۵٪، برای دوره ۲۰۰۰-۱۹۶۱ با کمک متغیرهای مستقل مرکز NCEP و متغیرهای وابسته ی دما و بارش از دو ایستگاه زیر حوضه ی ((چوت - دا - دیابله))^۵ واقع در حوزه آبخیز ((سایونای - لاک - سنت - جین))^۶ در شمال کبک کانادا پژوهشی صورت گرفت. یافته های حاصل از این مطالعه مشخص کرد که مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی خود در تمامی موارد برای اکثر ماه ها مقادیر P بالای سطح معنی دار ۰/۰۵ درصد دارد و بنابراین خطای مدل برای همه ی ماه ها و در سطح اطمینان ۹۵٪ بسیار ناچیز است (خان و همکاران، ۲۰۰۶). سبحانی و همکاران (۱۳۹۴) با به کارگیری دو مدل SDSM و LARS-WG نشان دادند که

مدل SDSM عملکرد بهتری برای داده های دما دارد. وانگ و همکاران (۲۰۱۹) در حوضه رودخانه ای به نام های ها^۷ که دومین رودخانه بزرگ داخلی در شمال غربی چین می باشد با استفاده از مدل SDSM، داده های اقلیمی شامل بارندگی روزانه، بیشینه دمای هوا و کمینه دمای هوا از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ و با استفاده از سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ بررسی نمودند. بروغنی و همکاران (۲۰۲۲) طی پژوهشی در سه استان شمالی گیلان، مازندران و گلستان تأثیرات تغییرات آب و هوا بر خشک سالی در سواحل جنوبی دریای خزر در دوره های آینده ارزیابی با استفاده از مدل گردش عمومی مدل HadCM3 از مدل SDSM استخراج نمودند. نتایج به دست آمده از خروجی شاخص در دوره نظارت و دوره های آینده با مقیاس های زمانی مختلف نشان داد که شدت خشک سالی در دهه های آینده نسبت به دوره نظارت افزایش خواهد یافت. این افزایش برای شرق دریای خزر شدیدتر است، به طوری که شدت خشک سالی دهه ۲۰۸۰ سه برابر دوره مشاهده خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش فراوانی و شدت خشک سالی در منطقه مورد مطالعه می شود.

از ایرداتی که به مدل های گردش عمومی وارد می شود، بزرگ مقیاس بودن مقیاس مکانی متغیرهای شبیه سازی شده می باشد که در این صورت برای مطالعات هیدرولوژیکی و منابع آب از دقت کافی برخوردار نیستند. همچنین به دلیل تفکیک فضایی کم و ساده سازی های مدل های گردش عمومی در مقایسه با مدل های منطقه ای و کوتاه مدت، خروجی این مدل ها نمی تواند تقریب درستی از شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه ارائه دهد. لذا در این مطالعه دقت دو روش ریزمقیاس نمایی SDSM و CCT در حوزه آبخیز کرگانرود بررسی می شود، که مطالعات معدودی در این مورد انجام شده است. در این پژوهش به منظور بررسی دقیق تر بارش، دمای بیشینه، کمینه و متوسط در دوره آینده؛ سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ تا سال ۲۱۰۰ تولید شده است. همچنین به منظور بررسی عملکرد و بررسی روند تغییرات در تعیین همبستگی و نیز تطابق توزیع شاخص های اقلیمی

5 Chute-Du-diable

6 Sayuenay-lac-saint-jean



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

سالیانه ۱۰/۷ درجه سلسیوس، متوسط دمای کمینه و بیشینه دمای سالیانه این حوضه به ترتیب ۲ و ۱۹/۴ درجه سلسیوس می باشد. موقعیت منطقه مطالعاتی و نقشه پایه حوضه در شکل (۱) نشان داده شده است.

در این تحقیق، داده های مشاهداتی روزانه دمای بیشینه و کمینه، بارش از نزدیک ترین ایستگاه همدیدی به حوزه آبخیز کرگانرود (ایستگاه همدیدی بندرانزلی) از سازمان هواشناسی استان گیلان و در دوره پایه (۱۹۷۵-۲۰۱۸)، بدست آمده، استفاده شده است. اطلاعات و مشخصات ایستگاه همدیدی بندرانزلی در جدول شماره (۱) آورده شده است.

شبیه سازی و ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی

در این پژوهش ابتدا داده های هواشناسی از جمله دمای بیشینه، کمینه و بارش با گام زمانی روزانه از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۸ میلادی مربوط به ایستگاه همدیدی بندرانزلی تهیه شد. بررسی تغییرات دمای منیتع و بیشینه ایستگاه بندرانزلی در بازه زمانی ۱۹۷۵-۲۰۱۸ بیانگر آن است که سردترین ماه مربوط به فوریه و به میزان ۱/۶ درجه سلسیوس در سال ۱۹۷۶ و گرمترین ماه مربوط به جولای و به میزان ۳۴/۱ درجه سلسیوس بوده است. همچنین میانگین بارندگی این ایستگاه در دوره مشاهداتی ۱۶۸۶/۵ میلی متر و بیشترین میزان بارش

در داده های مشاهداتی و ریزمقیاس شده دو مدل SDSM و CCT، به ترتیب از آزمون من - کندال، ناش - ساتکلیف^۸ (NS)، ضریب همبستگی^۹ (R^2) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا^{۱۰} (RMSE) بهره گرفته شده است.

مواد و روش ها

خصوصیات منطقه مطالعاتی

محدوده مورد مطالعه حوزه آبخیز کرگانرود با وسعتی حدود ۵۲۵/۴۹ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۳۰°۴۸' تا ۵۰°۴۸' طول شرقی ۳۷°۴۲' تا ۳۷°۵۶' 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 میلی متر می باشد. همچنین بیشترین بارندگی ماهانه نیز به ترتیب با ۱۶۱ و ۱۲۹ میلی متر در ماه های اکتبر و سپتامبر اتفاق می افتد که هرکدام حدود ۱۵ و ۱۲ درصد از کل بارش را به خود اختصاص می دهند. ماه های جولای و می خشک ترین ماه های سال می باشند. این حوضه دارای متوسط دمای

8 Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient

9 R-squared correlation

10 Root-Mean-Square Deviation

جدول ۱. اطلاعات ایستگاه هواشناسی همدیدی بندرانزلی (مطالعه موردی)

نام ایستگاه	مختصات جغرافیایی		طول دوره آماری		مدت زمان آماری (سال)
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	شروع سال	پایان سال	
بندر انزلی	۴۹/۴۵	۳۷/۴۷	۱۹۷۵	۲۰۱۸	۴۴

مربوط به ماه نوامبر و میزان ۷۸۳ میلی متر در سال ۱۹۷۸ و بیشترین میزان بارش سالانه به میزان ۲۸۰۶ میلی متر در سال ۲۰۱۱ بوده است.

بکارگیری مدل اقلیمی CCT

مدل اقلیمی CCT یک برنامه کارا و قابل اطمینان است که اخیراً به منظور تجزیه و تحلیل داده های آب و هوایی و محاسبه حدی های اقلیمی مانند سیل و خشکسالی توسعه یافته است. این برنامه با اهداف مختلفی طراحی شده است که شامل استخراج داده ها، مدیریت داده های اقلیمی جهانی، ریزمقیاس نمایی و تصحیح اریبی (خطای مدل)، درون یابی فضایی و آنالیز روزهای آنومالی یا بحرانی متوالی است (واقفی و همکاران، ۲۰۱۷).

این نرم افزار دارای سه سری داده اقلیمی می باشد: ۱- داده های مشاهداتی (بارش و بیشینه و کمینه دما) که توسط کاربر تهیه می شود. ۲- داده های تاریخی^{۱۱} CRU (۱۹۷۰-۲۰۰۵) که داده های شبکه با تفکیک فضایی ۰/۵ درجه تهیه شده در واحد تحقیقات آب و هوایی آنجیلیایی شرقی (CRU TS ۳.۱) (هریس و همکاران، ۲۰۱۴). ۳- پنج سری داده مدل گردش عمومی (GCM) با تفکیک فضایی ۰/۵ درجه، تهیه شده در ISI-MIP^{۱۲} (همپل و همکاران، ۲۰۱۳) که برای چهار سناریوی اقلیمی گزارش پنجم^{۱۳} IPCC ارائه شده است. جعبه ابزار تغییرات اقلیمی (CCT) یک برنامه کارا و قابل اطمینان است که به تازگی توسط واقفی و همکاران (۲۰۱۷) به منظور تجزیه و تحلیل داده های آب و هوایی و محاسبه حدی های (Extream) اقلیمی مانند سیل و خشکسالی طراحی شده است.

این برنامه با اهداف مختلفی توسعه یافته است:

- 11 Climate Research Unit East Anglia
- 12 Inter-Sectoral Impact Model Inter-comparison Project
- 13 RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)

استخراج داده های هواشناسی
مدیریت داده های آب و هوایی جهانی
ریزمقیاس نمایی و تصحیح اریبی (خطای مدل)
آنالیز روزهای آنومالی یا بحرانی متوالی (CCDA^{۱۴})

داده های بارندگی و دمای محلی بر اساس نزدیکترین ایستگاه مشاهداتی (ایستگاه بندرانزلی) به نقاط شبکه ای در منطقه مورد مطالعه طی دوره مشاهداتی موجود ریزمقیاس شد. سپس خروجی های ریزمقیاس شده برای رسیدن به نتایج بهتر و قابل اعتمادتر در CCT براساس داده های مشاهداتی تصحیح گردید.

در این تحقیق از طریق مدل MIROC تحت سناریو RCP۲.۶، RCO۴.۵ و RCP۸.۵ برای پیش بینی متغیر دما و بارش آینده و با استفاده از شبکه هایی با قدرت تفکیک پذیری ۰/۵ درجه جهت مقایسه دقیق بین داده های شبیه سازی و مشاهداتی، توسط جعبه ابزار CCT ریزمقیاس گردیدند.

مدل اقلیمی MIROC (مدل تحقیق بین رشته ای در مورد آب و هوا) در موسسه تحقیقات جو و اقیانوس، دانشگاه توکیو، موسسه ملی مطالعات زیست محیطی و ژانوس علوم و فناوری دریایی - زمین ژاپن تهیه شده است. MIROC۳m با دقت تفکیکی متوسط و نسخه با دقت تفکیکی بالا MIROC۳h در AR^{۱۵} معرفی کردند. برای AR^{۱۶}، نسخه های جدیدی از MIROC، یعنی MIROC۴h و MIROC۵ توسعه داده شد. عملکرد MIROC۴h و MIROC۵ در کنترل تحت فشار خارجی بسیار بهتر از نسخه های قدیمی تر از نظر اقلیم شناسی و تغییرات دوره ای است (واتانابه و همکاران ۲۰۱۰؛ تاتبه و همکاران ۲۰۱۲). جدول شماره (۲) مشخصات این مدل را نشان می دهد.

بکارگیری مدل اقلیمی SDSM

- 14 Critical Consecutive Day Analyzer
- 15 Fourth Assessment Report
- 16 Fifth Assessment Report

جدول ۲. مشخصات مدل اقلیمی MIROC

نام مدل	دقت شبکه اتمسفر	دقت شبکه اقیانوس	مرکز تحقیقات	تاریخی / آینده شبیه سازی	سناریوهای انتشار
MIROC	$2/81^{\circ} \times 2/81^{\circ}$	$0/9^{\circ} \times 1/4^{\circ}$	Japan ^۱	۲۰۰۶-۲۱۰۰/۱۹۴۸-۲۰۱۴	RCP۲,۶, RCP۴,۵, RCP۸,۵

^۱ National Institute for Environmental Studies

جدول ۳. مشخصات مدل اقلیمی CanESM۲

نام مدل	دقت شبکه اتمسفر	دقت شبکه اقیانوس	مرکز تحقیقات	تاریخی / آینده شبیه سازی	سناریوهای انتشار
CanESM۲	$2/81^{\circ} \times 2/81^{\circ}$	$0/94^{\circ} \times 1/41^{\circ}$	Canada ^۲	۲۰۰۶-۲۱۰۰/۱۸۵۰-۲۰۰۵	RCP۲,۶, RCP۴,۵, RCP۸,۵

^۲ Canadian Center for Climate Modelling and Analysis

گزارش پیشین افزایش یافته است. همچنین در سناریوهای RCP، محدوده وسیع تر و مستدل تری از سیرهای تولید گازهای گلخانه ای GHGs^{۱۹} نسبت به سناریوهای SRES^{۲۰} در گزارش چهارم ارزیابی شده است. به طور کلی عدم قطعیت ها در گزارش اخیر کاهش یافته است.

متغیرهای NCEP^{۲۱} شامل ۲۶ متغیر اتمسفری است که از بین آنها، متغیرهای مستقل انتخاب می شوند. با توجه به اینکه متغیرهای مستقل پیش بینی کننده NCEP، می توانند روابط مختلفی با داده های پیش بینی شونده داشته باشد لذا متغیرهایی حائز اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین ترین واریانس خطا باشند. یکی از مهمترین مراحل مدل ریز مقیاس نمایی آماری، انتخاب متغیرهای غالبی است که در مدل از آنها استفاده می شود. اهمیت این بخش ناشی از این است که مشخصات مدل و نتایج، تحت تاثیر مستقیم متغیرهای مستقل انتخاب می شود. به متغیرهای مستقل انتخاب شده از بین متغیرهای موجود، متغیرهای غالب گفته می شود. متغیرهای غالب باید از نظر فیزیکی با متغیرهای وابسته مرتبط بوده و از نظر آماری همبستگی بالایی را با آن دارا باشند. برای انتخاب متغیرهای مستقل غالب از مدل SDSM استفاده می شود.

بنابراین در این مطالعه داده های NCEP و مدل CanESM۲ با سناریو RCP۲,۶, RCO۴,۵ و RCP۸,۵ از لینک (<http://ccds-dscc.ec.gc.ca>) براساس طول و عرض جغرافیایی حوزه آبخیز کرگنرود و ایستگاه بندر انزلی اخذ شدند. مدل SDSM در اولین مرحله، به شناسایی متغیرهای

در میان روش های آماری کاهش مقیاس، SDSM بسیار مورد توجه بوده است و بیش از ۶۰۰ ارجاع در مقالات ISI^{۱۷} دارد. از مزایای این روش عبارتند از: ۱ - همبستگی بین متغیرهای اقلیمی در ضمن کاهش مقیاس حفظ می شود که برای مطالعات ارزیابی آثار هیدرولوژیکی تغییر اقلیم ضروری است. ۲ - با تولید سری های طولانی مدت، از عدم قطعیت نوسانات اقلیمی کاسته می شود. ۳- در مقایسه با روش های دینامیکی، به زمان و هزینه محاسباتی اندکی نیاز دارد. ۴- به عنوان یک روش کاهش مقیاس ممکن است محدودیت کاربرد مشخصی داشته باشد و نتایجش در آن حدود، باشد.

مدل SDSM یک ابزار رگرسیون بنیان چندگانه است و امروزه به عنوان پرکاربردترین مدل ریزمقیاس نمایی و بهترین مولد داده شرطی در سطح جهان در چهار مرحله خلاصه می شود: ۱- انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده به نام متغیر مستقل، ۲- واسنجی مدل، ۳- ارزیابی مدل و ۴- تولید سناریوهای آتی (ویلی، ۲۰۰۴).

در پژوهش حاضر برای پیش نگری متغیر دما و بارش آینده از مدل CanESM۲ تحت سناریو RCP۲,۶, RCP۴,۵ و RCP۸,۵ از طریق مدل SDSM ریز مقیاس نمایی شده است. مدل CanESM۲ یک مدل جامع و جفت شده و چهارمین نسل از مدل های گردش عمومی جفت شده CGCM^۴ است و جزء سری مدل های CMIP^{۱۸} و گزارش پنجم (AR۵) هیئت بین الدول تغییر اقلیم می باشد (آروا، ۲۰۱۱). جدول شماره (۳) مشخصات این مدل را نشان می دهد. در گزارش پنجم دقت شبیه سازی و وضوح مکانی مدل ها نسبت به

19 Greenhouse Gases

20 Special Report on Emissions Scenarios

21 National Centers for Environmental Prediction

17 Institute of Scientific Information

18 Coupled Model Intercomparison Project Phase 5

جدول ۴. کدها و تعاریف متغیرهای NCEP و پیش بینی کننده روزانه برای ریز مقیاس آماری بارش و دما روزانه در ایستگاه بندرانزلی

مولفه هواشناسی	کد	شرح
بارندگی	P1_z	گردابی در نزدیکی سطح
	P1_zh	واگرایی نزدیک سطح
	p ^o th	جهت باد hPa۵۰۰
	p ^h _v	جزء سرعت نصف النهار در hPa۵۰
دمای بیشینه	temp	دمای هوای نزدیک به سطح
	p ^h _u	مولفه سرعت منطقه ای در hPa۵۰
دمای کمینه	temp	دمای هوای نزدیک به سطح
	shum	رطوبت خاص نزدیک به سطح
	p ^h _v	جزء سرعت نصف النهار در hPa۵۰
	p ^o _v	جزء سرعت نصف النهار در hPa۵۰۰
دمای میانگین	temp	دمای هوای نزدیک به سطح
	shum	رطوبت خاص نزدیک به سطح

گرفت. روابط ۳ الی ۵ معادله این شاخص ها را نشان می دهد.

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 بیشینه، کمینه و متوسط ماهانه مشاهداتی و S_i به ترتیب مقادیر بارندگی، دمای بیشینه، کمینه و متوسط شبیه سازی شده توسط مدل های گردش عمومی، $\bar{O}$ و $\bar{S}$ نیز به ترتیب میانگین ریاضی مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده می باشند.

تجزیه و تحلیل روند سری های زمانی با استفاده از آزمون من

پیش بینی کننده دارای بیشترین همبستگی مشاهداتی پارامتر مد نظر می پردازد. در این تحقیق NCEP های منتخب با بیشترین همبستگی در جدول شماره (۴) ذکر شده است. از میان متغیرهای NCEP، میانگین دما در ارتفاع ۲ متری و قدرت جریان هوا در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال (متغیرهای مستقل) بالاترین همبستگی را با متغیر وابسته دمای بیشینه و میانگین دما در ارتفاع ۲ متری، رطوبت ویژه سطحی، سرعت نصف النهاری در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال و سرعت نصف النهاری در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال (متغیرهای مستقل) بالاترین همبستگی را با متغیر وابسته دمای کمینه و میانگین دما در ارتفاع ۲ متری و رطوبت ویژه سطحی (متغیرهای مستقل) بالاترین همبستگی را با متغیر وابسته دمای میانگین دارد. همچنین از میان متغیرهای NCEP، سرعت نصف النهاری در ارتفاع فشاری ۸۵۰ هکتوپاسکال، جهت باد در ارتفاع فشاری ۵۰۰ هکتوپاسکال، واگرایی سطحی و حالت گردابی سطحی (متغیرهای مستقل) بالاترین همبستگی را با متغیر وابسته بارش روزانه دارد.

ارزیابی عملکرد روش های ریز مقیاس

پس از ریزمقیاس نمایی با مقایسه داده های مشاهداتی ایستگاه همدیدی بندرانزلی و شبیه سازی شده در دوره پایه، دقت هر مدل با شاخص های ارزیابی مختلف مورد بررسی قرار

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۹:}$$

این آزمون، یک آزمون دو طرفه است. بنابراین در صورتی که $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ باشد، در سطح اطمینان ∞ 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).

نتایج و بحث

واسنجی و اعتبار سنجی مدل های اقلیمی

به منظور استفاده از مولفه های اقلیمی بارش و دما جهت بکارگیری در مدل های اقلیمی CamESM۲ و MIROC، ابتدا پارامترهای بارش و دمایی ایستگاه های همدیدی، اقلیم شناسی و بارانسجی استان گیلان از آرشیو سازمان هواشناسی ایران تهیه و دریافت شد. پس از بررسی طول دوره آماری ایستگاه های هواشناسی موجود مشخص گردید به دلیل عدم وجود اطلاعات هواشناسی در برخی از سال ها در ایستگاه های هواشناسی در استان گیلان و عدم وجود اطلاعات دراز مدت در ایستگاه های هواشناسی موجود؛ بهترین، نزدیک ترین و کامل ترین ایستگاه هواشناسی دارای دوره آماری دراز مدت، ایستگاه همدیدی بندر انزلی بود. مشخصات ایستگاه های مورد بررسی استان گیلان در شکل (۲) و در جدول (۵) درج شده است. پس از اینکه ایستگاه بندر انزلی به عنوان ایستگاه هواشناسی شاخص و مناسب انتخاب شد. مولفه های اقلیمی بارش و دما در محدوده زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۸ انتخاب و مقایسه میانگین بلند مدت ماهانه مولفه های اقلیمی (بارش، دمای بیشینه و کمینه) مشاهداتی و شبیه سازی شده ایستگاه همدیدی بندرانزلی طی دوره های واسنجی ۱۹۹۵-۱۹۷۵ و دوره اعتبار سنجی ۲۰۰۵-۱۹۹۶ با استفاده از مدل های مقیاس کاهی SDSM و CCT و مدل های اقلیمی CanESM۲ و

- کندال

برای تجزیه و تحلیل روند سری های زمانی از روش های آماری مختلفی استفاده شد. این روش ها به دو گروه کلی از روش های پارامتریک و غیرپارامتری تقسیم می شوند، جایی که روش های غیرپارامتری کاربردهای گسترده تری 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 می شود. به طور گسترده ای برای تعیین روند زمانی داده های هیدرولوژیکی و هواشناسی استفاده می شود (زارنستانک و همکاران ۲۰۱۴؛ یو و همکاران، ۲۰۰۴). آزمون رتبه بندی من - کندال یک روش بدون پارامتر بدون توزیع برای تجزیه و تحلیل روند با حداقل فرضیات برای سری های 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:

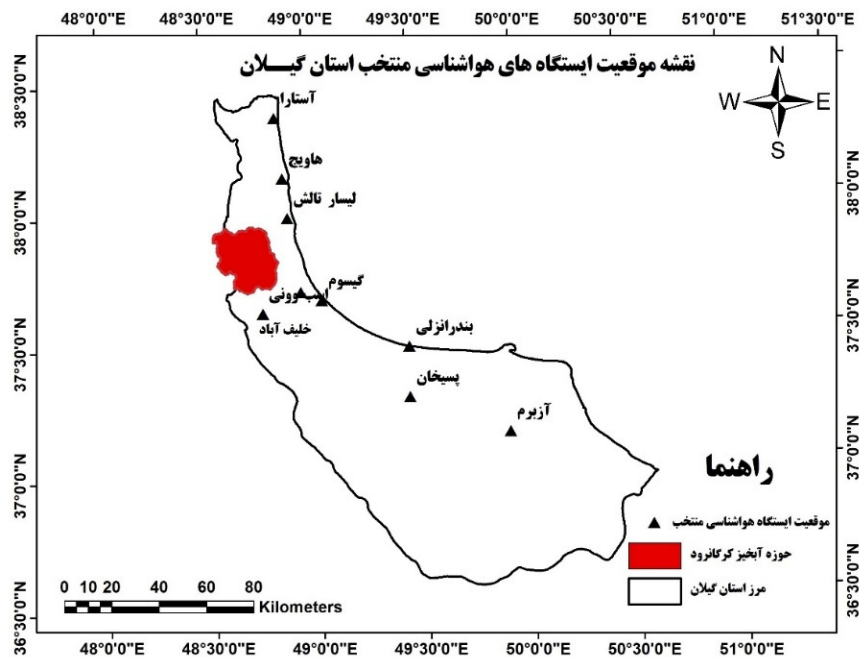
$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

در واقع در این آزمون هر داده با تمامی داده های پس از خود مقایسه می شود. با فرض اینکه داده ها مستقل بوده و توزیع یکنواخت دارند، واریانس S از رابطه (۸) بدست می آید:

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 داده ها، m: تعداد گروه ها و t: تعداد داده ها در هر گروه می باشد. آماره این آزمون (Z) دارای توزیع نرمال بوده و از ++ رابطه (۹) بدست می آید:



شکل ۲. موقعیت ایستگاه های هواشناسی منتخب منطقه مورد مطالعه

جدول ۵. جزئیات ایستگاه های هواشناسی مورد مطالعه در استان گیلان

نوع ایستگاه هواشناسی	نام ایستگاه	شروع سال	پایان سال	طول دوره آماری
همدیدی	بندرانزلی	۱۹۷۵	۲۰۱۸	۴۴
	آستارا	۱۹۸۶	۲۰۱۸	۳۳
کلیماتولوژی	اسب وونی	۱۹۹۸	۲۰۱۷	۲۰
	پسیخان	۱۹۸۳	۲۰۱۵	۳۳
	آزیرم	۱۹۹۰	۲۰۱۸	۲۹
بارانسنجی	گیسوم	۱۹۹۹	۲۰۱۹	۲۱
	خلیف آباد	۲۰۰۰	۲۰۱۹	۲۰
	هاویج	۱۹۶۰	۲۰۱۹	۶۰
	لیسارتالش	۱۹۹۸	۲۰۱۹	۲۲

اند. این بدان علت است که دما یک متغیر پیوسته بوده و نسبت به بارندگی تغییر پذیری کمتری دارد. اما بارندگی یک کمیت گسسته است و مقدار آن در یک حوضه تحت تاثیر عوامل مختلفی می باشد. در نتیجه داده های دما همبستگی بهتری در مقایسه با داده های بارش در دوره های آتی داشتند. نتایج نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه سازی و مشاهداتی وجود داشته لذا کوچک مقیاس سازی داده های دما

MIROC در جدول (۶) نشان داده شده است. نتایج حاصل از ارزیابی مدل های مبتنی بر مولفه های اقلیمی در برآورد بارش، دمای بیشینه و کمینه ایستگاه همدیدی بندرانزلی نشان داد که مدل های مذکور دارای کارایی و دقت نسبتاً خوبی می باشند. با توجه به مقادیر معیارهای ارزیابی R^2 ، NS و $RMSE$ مشخص شد که داده های دما نسبت به داده های بارندگی همبستگی بیشتری با داده های مشاهداتی داشته

جدول ۶. ارزیابی مدل های CCT و SDSM در مرحله واسنجی و اعتبار سنجی

نام مدل	مؤلفه	واسنجی			اعتبار سنجی		
		NS	RMSE	R ²	NS	RMSE	R ²
CanESM ₂	بارندگی (mm)	۰/۹۹	۸۷/۷	۰/۹۹	۰/۹۹	۸۸/۳	۰/۹۹
	دمای بیشینه (°C)	۰/۹۹	۰/۳۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۳۴	۰/۹۹
	دمای کمینه (°C)	۰/۹۹	۰/۶۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۴/۱	۰/۹۹
	دمای متوسط (°C)	۰/۹۹	۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۳	۰/۹۹
MIROC	بارندگی (mm)	۰/۹۸	۶۱/۳	۰/۸۲	۰/۸۵	۶۷/۶	۰/۷۷
	دمای بیشینه (°C)	۰/۹۹	۴/۴	۰/۸۶	۰/۹۸	۳/۵	۰/۹۱
	دمای کمینه (°C)	۰/۹۹	۵	۰/۹	۰/۹۹	۴/۴	۰/۹۲
	دمای متوسط (°C)	۰/۹۹	۷/۲	۰/۶۲	۰/۹۸	۶/۴	۰/۷

و بارش در مدل IPCC۵ از توانایی قابل قبولی برخوردار است و می توان از مدل های اقلیمی CanESM₂ و MIROC برای تولید داده های اقلیمی طی دوره های آتی استفاده نمود.

نتایج مدل های اقلیمی CCT و SDSM

از مدل های مقیاس کاهی SDSM و CCT و مدل های اقلیمی CanESM₂ و MIROC نتایج حاصل سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ در دوره های آتی ۲۰۵۰-۲۰۲۶، ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ در مقایسه با اطلاعات هواشناسی ایستگاه همدیدی بندرانزلی (۲۰۱۸-۱۹۷۵) به صورت نمودار در اشکال (۳) تا (۶) نشان داده شده است.

نتایج اجرای مدل اقلیمی CCT

بررسی نتایج اجرای مدل CCT نشان می دهد که در سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ بارندگی در تمامی دوره های آتی کاهش، دمای بیشینه افزایش، دمای کمینه کاهش و دمای متوسط افزایش می یابد. بیشترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ و به میزان ۶۵۳/۳۳ میلی متر (کاهش)، بیشترین میزان تغییرات دمای بیشینه مربوط به RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و به میزان ۶/۷ درجه سلسیوس (افزایش)، بیشترین میزان تغییرات دمای کمینه مربوط به RCP۴.۵ در دوره آتی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ و به میزان ۲/۱ درجه سلسیوس (کاهش) و بیشترین میزان تغییرات دمای متوسط مربوط به

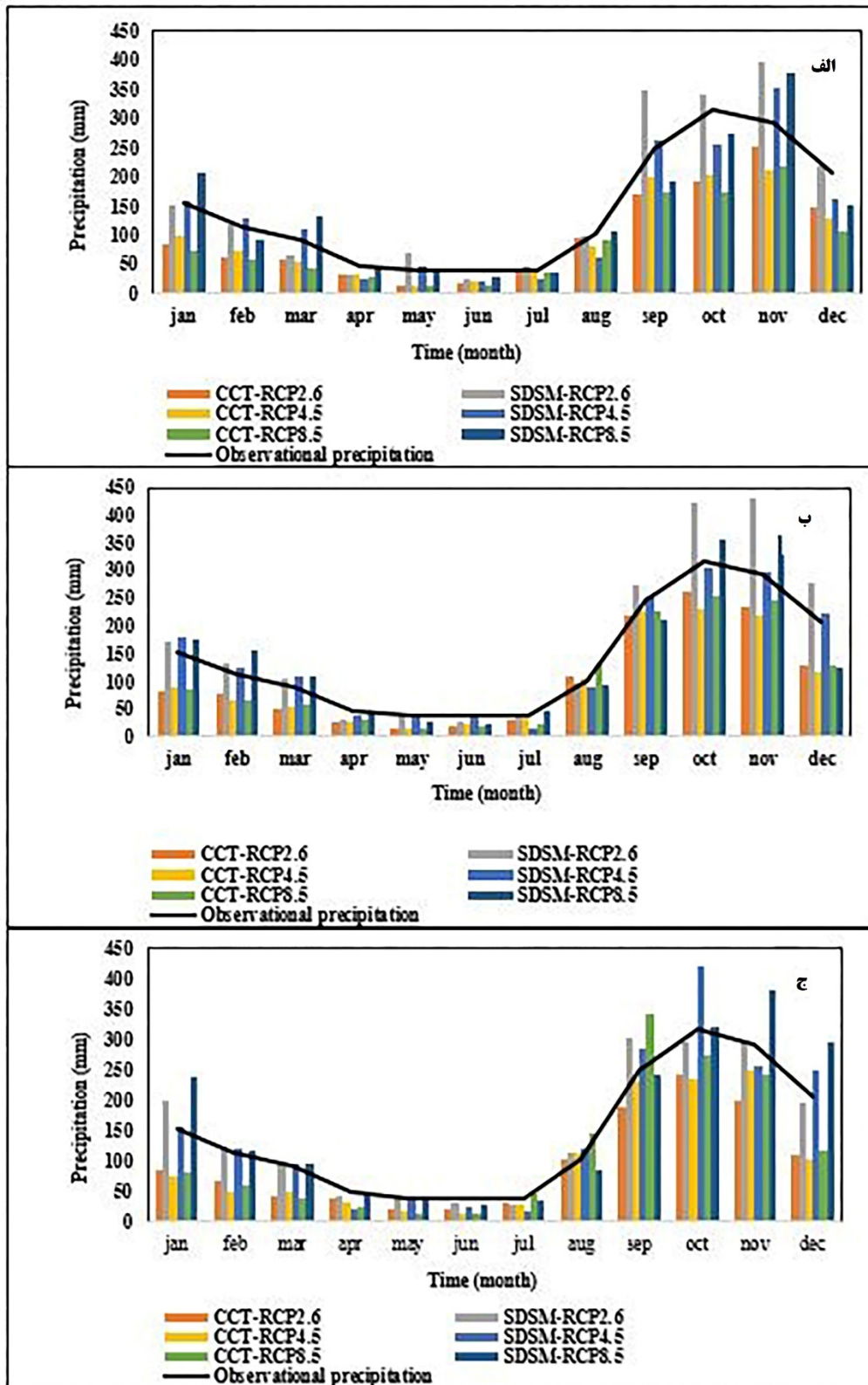
RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۴/۴ درجه سلسیوس (افزایشی) می باشد.

نتایج اجرای مدل اقلیمی SDSM

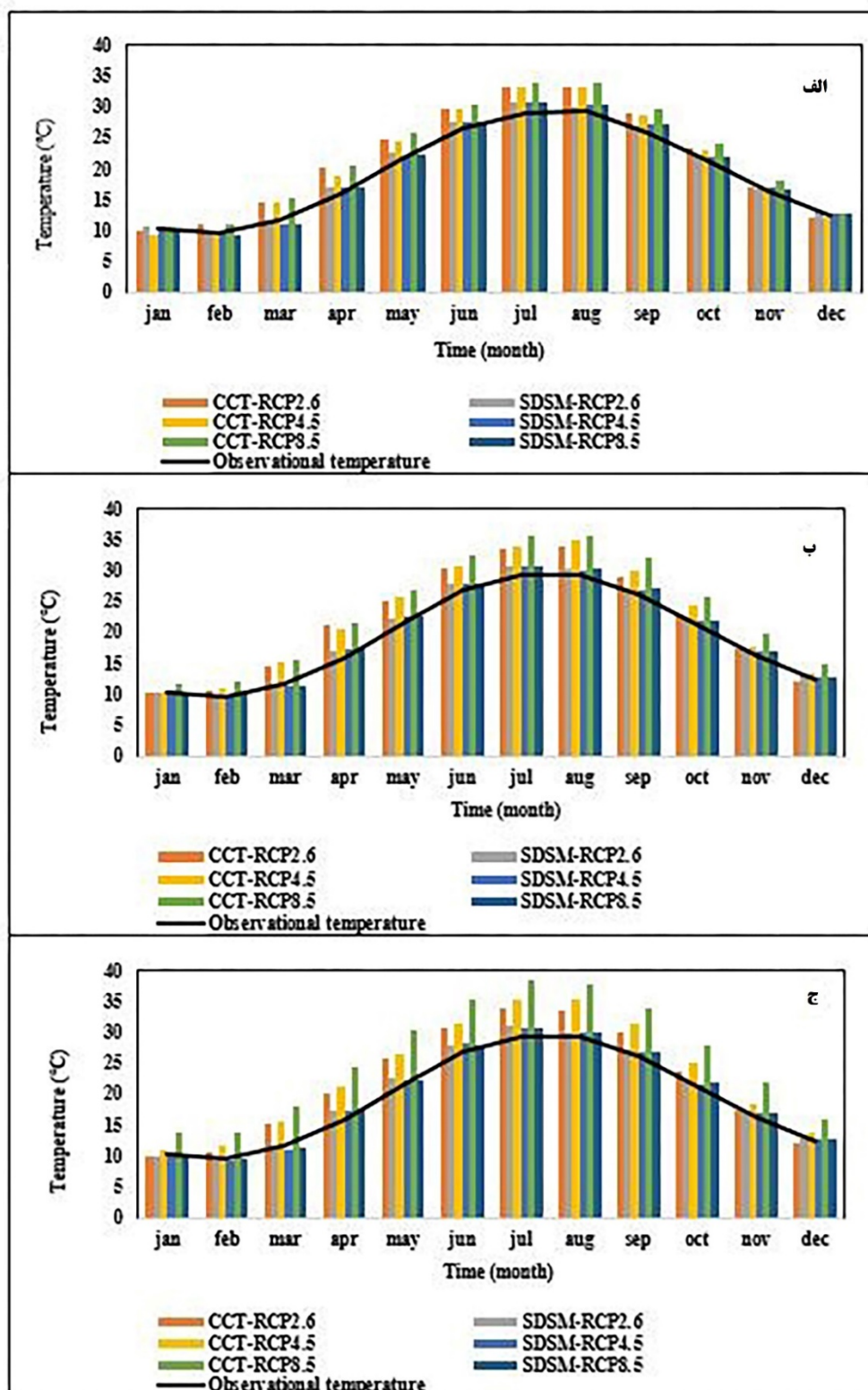
بررسی نتایج اجرای مدل SDSM نشان می دهد که در سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ بارندگی در تمامی دوره های آتی کاهش، دمای بیشینه افزایش، دمای کمینه کاهش و دمای متوسط افزایش می یابد. بیشترین میزان تغییرات بارندگی مربوط به RCP۲.۶ در دوره آتی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ و به میزان ۳۶۳/۴ میلی متر (افزایشی)، بیشترین میزان تغییرات دمای بیشینه مربوط به RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و به میزان ۰/۶۹ درجه سلسیوس (افزایشی)، بیشترین میزان تغییرات دمای کمینه مربوط به RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۱۰۰-۲۰۷۶ و به میزان ۰/۲ درجه سلسیوس (کاهش) و بیشترین میزان تغییرات دمای متوسط مربوط به RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و به میزان ۰/۵ درجه سلسیوس (افزایشی) می باشد.

مقایسه نتایج اجرای مدل های مقیاس کاهی SDSM و CCT و مدل های اقلیمی CanESM₂ و MIROC در سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ در دوره های آتی به همراه درصد تغییرات مولفه های هواشناسی با مقادیر مشاهداتی در جدول (۷) آمده است.

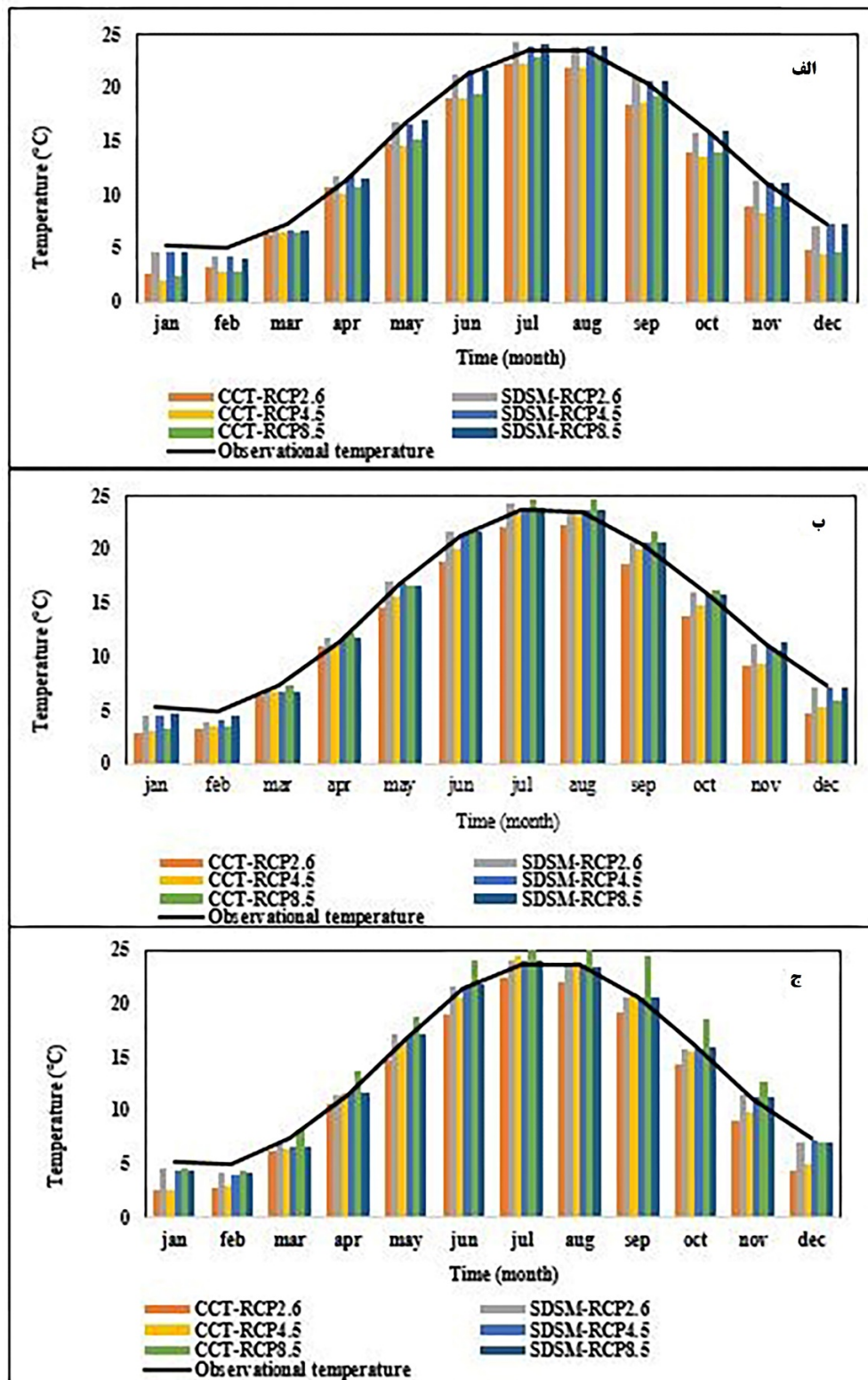
نتایج آزمون من - کندال در دوره آتی



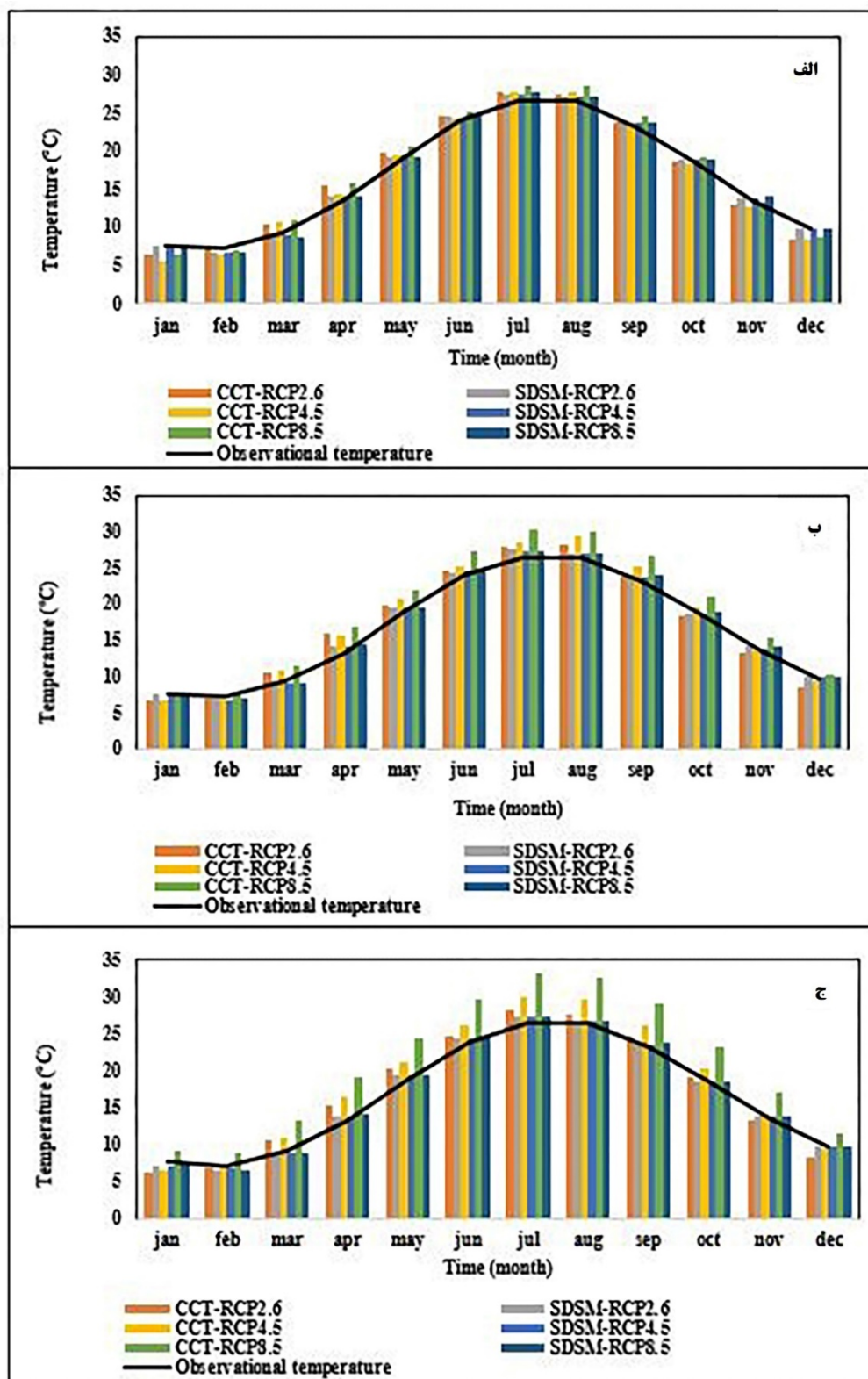
شکل ۳. مقایسه میانگین بارندگی ماهانه دوره های آبی در سه سناریو RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ و مدل های اقلیمی CCT و SDSM در الف) دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۶، ب) دوره ۲۰۷۵-۲۰۵۱ و ج) دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۶



شکل ۴. مقایسه میانگین بیشینه ماهانه دمای دوره‌های آبی در سه سناریو RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ و مدل‌های اقلیمی CCT و SDSM در الف) دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰، ب) دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ج) دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰



شکل ۵. مقایسه میانگین کمینه ماهانه دمای دوره های آتی در سه سناریو RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ و مدل های اقلیمی CCT و SDSM در (الف) دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰، (ب) دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و (ج) دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰



شکل ۶. مقایسه متوسط دمای ماهانه دوره‌های آبی در سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و مدل‌های اقلیمی CCT و SDSM در (الف) دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰، (ب) دوره ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و (ج) دوره ۲۰۷۶-۲۱۰۰

جدول ۷. مقایسه درصد تغییرات میانگین بارش و دمای بیشینه، کمینه و متوسط مدل اقلیمی CCT و SDSM در سناریوی RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵.

مدل اقلیمی	مولفه	مشاهده	درصد تغییرات میانگین بارش و دمای بیشینه، کمینه و متوسط در RCP۲.۶					
			۲۰۲۶-۲۰۵۰		۲۰۵۱-۲۰۷۵		۲۰۷۶-۲۱۰۰	
			مقدار	درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات	مقدار	درصد تغییرات
CCT	بارندگی (mm)	۱۶۸۶/۵	۱۱۷۵/۵	↓ -۳۰/۳	۱۲۶۰/۴	↓ -۲۵/۲	۱۱۳۸/۷	↓ -۳۲/۵
	دمای بیشینه (°C)	۱۹/۲	۲۱/۵	↑ ۱۱/۹	۲۱/۸	↑ ۱۳/۵	۲۲	↑ ۱۴/۵
	دمای کمینه (°C)	۱۴/۱	۱۲/۳	↓ -۱۲/۷	۱۲/۲۹	↓ -۱۲/۸	۱۲/۲۸	↓ -۱۲/۹
	دمای متوسط (°C)	۱۶/۵	۱۶/۹	↑ ۲/۴	۱۷	↑ ۳	۱۷/۱	↑ ۳/۶
	بارندگی (mm)	۱۶۸۶/۵	۱۹۲۰/۸	↑ ۱۳/۹	۲۰۴۹/۹	↑ ۲۱/۵	۱۷۶۴/۲	↑ ۴/۶
SDSM	دمای بیشینه (°C)	۱۹/۲	۱۹/۸۷	↑ ۳/۴۸	۱۹/۸۹	↑ ۳/۶	۱۹/۸۵	↑ ۳/۳
	دمای کمینه (°C)	۱۴/۱	۱۴	↓ -۷	۱۴	↓ -۷	۱۳/۹	↓ -۱/۴
	دمای متوسط (°C)	۱۶/۵	۱۶/۹	↑ ۲/۴	۱۶/۸	↑ ۱/۸	۱۶/۷	↑ ۱/۲
	بارندگی (mm)	۱۶۸۶/۵	۱۱۵۴/۸۳	↓ -۳۱/۵	۱۲۱۸/۰۷	↓ -۲۷/۷	۱۱۸۵/۸۳	↓ -۲۹/۶
	دمای بیشینه (°C)	۱۹/۲	۲۱/۱	↑ ۹/۹	۲۲/۳	↑ ۱۶/۱	۲۳	↑ ۱۹/۸
CCT	دمای کمینه (°C)	۱۴/۱	۱۲	↓ -۱۴/۹	۱۳	↓ -۷/۸	۱۳/۳	↓ -۵/۶
	دمای متوسط (°C)	۱۶/۵	۱۶/۶	↑ ۰/۶	۱۷/۷	↑ ۷/۲	۱۸/۲	↑ ۱۰/۳
	بارندگی (mm)	۱۶۸۶/۵	۱۶۱۵/۷	↓ -۴/۲	۱۷۲۶/۷	↑ ۲/۴	۱۸۰۰	↑ ۶/۷
	دمای بیشینه (°C)	۱۹/۲	۱۹/۸	↑ ۳/۱	۱۹/۹	↑ ۳/۶	۱۹/۸	↑ ۳/۱
	دمای کمینه (°C)	۱۴/۱	۱۴	↓ -۷	۱۳/۹	↓ -۱/۴	۱۳/۹	↓ -۱/۴
SDSM	دمای متوسط (°C)	۱۶/۵	۱۶/۸	↑ ۱/۸	۱۶/۸	↑ ۱/۸	۱۶/۷	↑ ۱/۲
	بارندگی (mm)	۱۶۸۶/۵	۱۰۳۳/۱۷	↓ -۳۸/۷۳	۱۲۹۲/۵۹	↓ -۲۳/۳۵	۱۳۸۷/۹۵	↓ -۱۷/۷
	دمای بیشینه (°C)	۱۹/۲	۲۲/۲	↑ ۱۵/۶	۲۳/۷	↑ ۲۳/۴	۲۵/۹	↑ ۳۴/۹
	دمای کمینه (°C)	۱۴/۱	۱۲/۴	↓ -۱۲	۱۴	↓ -۷	۱۵/۹	↓ ۱۲/۷
	دمای متوسط (°C)	۱۶/۵	۱۷/۳	↑ ۴/۸	۱۸/۹	↑ ۱۴/۵	۲۰/۹	↑ ۲۶/۶
SDSM	بارندگی (mm)	۱۶۸۶/۵	۱۶۷۹/۷	↓ -۰/۴	۱۷۳۳/۴	↓ ۲/۷	۱۹۲۰/۷	↑ ۱۳/۸
	دمای بیشینه (°C)	۱۹/۲	۱۹/۸	↑ ۳/۱	۳/۶	↑ ۱۹/۸۹	۱۹/۸۲	↑ ۳/۲
	دمای کمینه (°C)	۱۴/۱	۱۴	↓ -۷	۱۴	↓ -۷	۱۳/۹	↓ -۱/۴
	دمای متوسط (°C)	۱۶/۵	۱۶/۸	↑ ۱/۸	۱۷	↑ ۳	۱۶/۸	↑ ۱/۸
	بارندگی (mm)	۱۶۸۶/۵	۱۰۳۳/۱۷	↓ -۳۸/۷۳	۱۲۹۲/۵۹	↓ -۲۳/۳۵	۱۳۸۷/۹۵	↓ -۱۷/۷

افزایشی (مثبت) و تغییرات معنی دار است. کمترین میزان تغییرات دمای بیشینه، کمینه و متوسط مربوط به RCP۲.۶ و بیشترین میزان تغییرات دمای بیشینه، کمینه و متوسط مربوط به RCP۸.۵ می باشد.

نتایج آزمون من - کندال در دوره آتی مدل SDSM

بررسی روند بارندگی، دمای بیشینه، کمینه و متوسط در دوره های آتی حاصل از اجرای مدل SDSM با توجه به انجام آزمون من - کندال نشان می دهد که روند بارندگی در RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ به طور متوسط نسبتاً کاهشی است ولی تغییرات آن معنی دار نیست. همچنین در تمامی سناریوها روند دمای بیشینه، کمینه و متوسط افزایشی (مثبت) و تغییرات به طور متوسط معنی دار است.

پس از اجرای مدل های مقیاس کاهی SDSM و CCT و مدل های اقلیمی CanESM۲ و MIROC نتایج حاصل سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ در دوره های آتی ۲۰۲۶-۲۰۵۰، ۲۰۵۱-۲۰۷۵ و ۲۰۷۶-۲۱۰۰ براساس آزمون من - کندال در جدول شماره (۸) ارائه شده است.

نتایج آزمون من - کندال در دوره آتی مدل CCT

بررسی روند بارندگی، دمای بیشینه، کمینه و متوسط در دوره های آتی حاصل از اجرای مدل CCT با توجه به انجام آزمون من - کندال نشان می دهد که روند بارندگی در RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ به طور متوسط نسبتاً کاهشی است ولی تغییرات آن معنی دار نیست. همچنین در تمامی سناریوها روند دمای بیشینه، کمینه و متوسط

جدول ۸. مقایسه روند تغییرات ناشی از اجرای مدل اقلیمی CCT و SDSM در دوره های آبی بر اساس آزمون من کندال

نتایج آزمون من - کندال سناریوی RCP۸,۵										نتایج آزمون من - کندال سناریوی RCP۴,۵										نتایج آزمون من - کندال سناریوی RCP۲,۱										مؤلفه	مدل اقلیمی										
۲۰۷۶-۲۱۰۰					۲۰۵۱-۲۰۷۵					۲۰۲۶-۲۰۵۰					۲۰۷۶-۲۱۰۰					۲۰۵۱-۲۰۷۵					۲۰۲۶-۲۱۰۰					۲۰۵۱-۲۰۷۵					۲۰۲۶-۲۰۵۰						
S	Z	S	Z	S	S	Z	S	Z	S	S	Z	S	S	Z	S	S	Z	S	S	Z	S	S	Z	S	S	Z	S	S	Z	S	S	Z									
-	-۰/۲۷	-	۰/۴۴	-	-۰/۰۴	-	۱/۰۲	-	-۰/۶۸	-	-۰/۸۸	-	۱/۰۲	+	۱/۶۶	-	-۰/۰۹	بارندگی (mm)																							
**	۳/۱۵	+	۱/۹۴	**	۳/۲۲	-	۰/۹۷	**	۲/۸۷	*	۲/۰۳	-	۰/۴۷	-	۰/۰۳	+	۱/۹۴	دمای بیشینه (°C)																							
***	۴/۱۴	***	۳/۵۷	**	۲/۹۵	-	-۰/۱۷	*	۲/۰۸	*	۲/۴۲	-	-۰/۲۷	-	۰/۸۶	*	۲/۴۲	دمای کمینه (°C)																							
***	۳/۶۵	**	۲/۶۹	***	۳/۵۳	-	۰/۳۲	**	۲/۶۴	*	۱/۹۸	-	-۰/۰۷	-	۰/۱۲	*	۲/۱۲	دمای متوسط (°C)																							
-	-۰/۲۲	-	-۰/۰۲	-	۰/۷۹	-	-۰/۰۷	-	۱/۳۳	-	-۰/۱۸	-	-۰/۰۷	-	۱/۳۳	-	-۰/۱۸	بارندگی (mm)																							
-	۰/۴۷	-	۰/۴	-	۱/۰۶	-	۰/۳۲	-	۰/۰۲	*	۲/۳۸	-	-۱/۲۲	-	-۰/۹۱	-	۰/۵۳	دمای بیشینه (°C)																							
-	۰/۷۲	+	۱/۸۵	*	۲/۰۳	-	۰/۸۷	-	۰/۴۹	-	۱/۱۹	-	۱/۲۲	**	۲/۷۸	-	۱/۳۲	دمای کمینه (°C)																							
+	۱/۹۱	-	۰/۴	*	۱/۹۸	-	۰/۶۲	-	۰/۹۱	-	۰/۵۷	+	۱/۷۶	+	۱/۸۹	-	۱/۴۵	دمای متوسط (°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.

کمترین میزان تغییرات دمای بیشینه، کمینه و متوسط مربوط به RCP۲.۶ و بیشترین میزان تغییرات دمای بیشینه، کمینه و متوسط مربوط به RCP۸.۵ می باشد.

جمع بندی

مدل های گردش عمومی به دلیل بزرگ مقیاس بودن شبکه محاسباتی آنها قادر به پیش بینی پارامترهای آب و هواشناختی در مقیاس منطقه ای نیستند. بنابراین باید با استفاده از روش های مختلف ریزمقیاس کرد. از بین روش های آماری به دلیل عملکرد سریع و آسان مورد استفاده قرار می گیرند. از جمله مدل های ریزمقیاس نمایی آماری مدل CCT و SDSM می باشند. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرات داده های دما و بارندگی منطقه در دوره مورد مطالعه مشاهداتی با توجه به آزمون من - کندال، تصادفی نبوده و تحت تاثیر عواملی، روند معنی دار از خود نشان دادند. داده های دما همبستگی بهتری در مقایسه با داده های بارش در دوره های آتی داشتند. این بدان علت است که دما یک متغیر پیوسته بوده و نسبت به بارندگی تغییر پذیری کمتری دارد. اما بارندگی یک کمیت گسسته است و مقدار آن در یک حوضه تحت تاثیر عوامل مختلفی می باشد. نتایج بدست آمده از مقایسه میزان تغییرات داده های دما و بارش در دوره مشاهداتی با داده های سناریوهای آینده در مدل CCT و SDSM نشان داد که بیشترین میزان تغییرات بارش مربوط به مدل CCT و مربوط به سناریوی RCP۸.۵ در دوره ۲۰۲۶-۲۰۵۰ و به میزان ۶۵۳/۳۳ میلی متر (۳۸/۷۳- درصد) و کاهشی، بیشترین میزان تغییرات دمای بیشینه مربوط به RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و به میزان ۶/۷ درجه سلسیوس (۳۴/۹ درصد) افزایشی، بیشترین میزان تغییرات دمای کمینه مربوط به RCP۴.۵ در دوره آتی ۲۰۲۶-۲۰۵۰ و به میزان ۲/۱ درجه سلسیوس (۱۴/۹- درصد) کاهشی و بیشترین میزان تغییرات دمای متوسط مربوط به RCP۸.۵ در دوره آتی ۲۰۷۶-۲۱۰۰ و به میزان ۴/۴ درجه سلسیوس (۲۶/۶ درصد) افزایشی می باشد. البته در تمامی سناریوها و در تمامی دوره های آتی در هر دو مدل درصد تغییرات بارندگی کاهشی می باشد. همچنین در تمامی سناریوها و در تمامی

دوره های آتی در هر دو مدل درصد تغییرات دمای بیشینه و دمای متوسط افزایشی و دمای کمینه کاهشی بود. نتایج بدست آمده از آزمون من - کندال در مدل CCT و SDSM نشان داد که نتایج حاصل از مدل CCT در دوره های آتی و در تمامی سناریوها، روند تغییرات بارش و دما نسبت به مدل SDSM معنی دارتر بوده و بیشترین میزان معنی داری تغییرات بارش و دما مربوط به RCP۸.۵ می باشد. در مجموع می توان گفت که در سناریوی RCP۸.۵ به عنوان بدبینانه ترین حالت ممکن، حوزه آبخیز کرگانه رود طی سال های آینده شاهد افزایش دما و کاهش میزان بارندگی خواهد بود. با توجه به نتایج این مطالعه یافت می شود که براساس معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب همبستگی و ضریب ناش - ساتکلیف، مدل SDSM در ریزمقیاس نمایی دمای بیشینه، کمینه و متوسط و در بارش به غیر از مقدار فاکتور RMSE سناریوی RCP۲.۶ و در دوره آتی ۲۰۷۶-۲۰۵۱ به میزان ۵۲/۴ در تمامی موارد نسبت به مدل CCT بهتر عمل می کند و دارای خطای کمتری است. این نتایج با نتایج بدست آمده از ریزمقیاس نمایی دمای بیشینه و کمینه توسط مدل SDSM در تحقیق انجام شده توسط نوری و همکاران (۲۰۱۴) مطابقت دارد با این تفاوت که آنها از روش فاصله اطمینان جهت بررسی عملکرد خروجی های مدل های اقلیمی استفاده کردند. نتایج بدست آمده از مدل SDSM به لحاظ کارایی و پیش بینی دوره های آتی در سناریوهای RCP۲.۶، RCP۴.۵ و RCP۸.۵ با نتایج وانگ و همکاران (۲۰۱۹)، مطابقت دارد. هدف و نوآوری این مطالعه به منظور ارزیابی مدل های آماری CCT و SDSM بود. با توجه به امکانات و توانایی هایی که این مدل های آماری در اختیار پژوهشگران قرار می دهند و نیز با ارزیابی های انجام شده در مورد صحت و دقت شبیه سازی های انجام شده در این تحقیق، مدل های آماری CCT و SDSM ابزاری کار آمد همراه با دقت مناسب برای انجام پژوهش های تغییر اقلیم و تحلیل های مربوط به دوره های ترسالی و خشکسالی به نظر می رسند. مضاف بر این که در منطقه مورد مطالعه تا کنون مدل های آماری CCT و SDSM و انجام ریز مقیاس سازی نتایج و مقایسه این نتایج تاکنون صورت نگرفته است. بر اساس نتایج مدل های

- 2011, Carbon emission limits required to satisfy future representative concentration pathways of greenhouse gases: *Geophysical Research Letters*, v. 38.
- Boroughani, M., E. Fahiminejad, and I. Pazhouhan, 2022, Predicting drought on the Caspian Sea coast with the impact of climate change: *Environmental Sciences*.
- Dibike, Y. B., and P. Coulibaly, 2005, Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models: *Journal of hydrology*, v. 307, p. 145-163.
- Fowler, H. J., S. Blenkinsop, and C. Tebaldi, 2007, Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling: *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 27, p. 1547-1578.
- Ghosh, S., D. Raju, and P. Mujumdar, 2010, Mahanadi streamflow: climate change impact assessment and adaptive strategies: *Current Science*, v. 98, p. 1084-1091.
- Harris, I., P. D. Jones, T. J. Osborn, and D. H. Lister, 2014, Updated high-resolution grids of monthly climatic observations—the CRU TS3. 10 Dataset: *International journal of climatology*, v. 34, p. 623-642.
- Hashmi, M. Z., A. Y. Shamseldin, and B. W. Melville, 2011, Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed: *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 25, p. 475-484.
- Hempel, S., K. Frieler, L. Warszawski, J. Schewe, and F. Piontek, 2013, A trend-preserving bias correction—the ISI-MIP approach.
- Khan, M. S., P. Coulibaly, and Y. Dibike, 2006, Uncertainty analysis of statistical downscaling methods: *Journal of Hydrology*, v. 319, p. 357-382.
- Kilsby, C. G., P. Jones, A. Burton, A. Ford, H. J. Fowler, C. Harpham, P. James, A. Smith, and R. Wilby, 2007, A daily weather generator for use in climate change studies: *Environmental Modelling & Software*, v. 22, p. 1705-1719.
- Kim, B. S., H. S. Kim, B. H. Seoh, and N. W. Kim, 2007, Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea: *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, v. 21, p. 355-373.
- Lopes, P. M. d. A. G. G., 2008, Assessment of climate change statistical downscaling methods: Application and comparison of two statistical methods to a single site in Lisbon, FCT-UNL.
- Minville, M., F. Brissette, and R. Leconte, 2008, Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a nordic watershed: *Journal of hydrology*, v. 358, p. 70-83.
- Nuri, A. Z., M. Farzaneh, and K. Espanayi, 2014,

پیش‌بینی اقلیمی، منطقه مورد مطالعه با افزایش دما و کاهش بارندگی مواجه خواهد شد، بنابراین شرایط حوضه به سمت خشک‌سالی اقلیمی تغییر خواهد کرد که این نتایج با نتایج بروغنی و همکاران (۲۰۲۲) مطابقت دارد. بدیهی است که این شرایط باعث می‌شود که پوشش گیاهی در اواخر تابستان و اوایل پاییز به حداقل خود برسد. در این شرایط احتمال وقوع سیلاب‌های پرخطر افزایش می‌یابد. این نتایج را می‌توان در مدیریت و برنامه‌ریزی محیط زیست و منابع طبیعی حوضه مورد توجه قرار داد. در این راستا باید از تغییر کاربری و تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به اراضی کشاورزی و مسکونی جلوگیری شود. نتایج ارائه شده در این مقاله قویاً استفاده از ریز مقیاس نمودن مدل‌های آماری CCT و SDSM برای تهیه و ارائه داده‌های هواشناسی مورد نیاز به منظور ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی را تأیید می‌کند. نتایج عملکرد و دقت SDSM با پیش‌بینی مراکز آب و هوای جهان و هیئت‌های تغییرات اقلیمی مطابقت دارد. لویز و همکاران (۲۰۰۸)، خان و همکاران (۲۰۰۶) و سبحانی و همکاران (۱۳۹۴)، با ارزیابی مدل در کانادا، نشان دادند که مدل SDSM خطای بسیار کمی به ویژه در شبیه‌سازی درجه حرارت و ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوایی دارد. در نتیجه، SDSM یک شبیه‌ساز قوی برای داده‌های دما در مقایسه با مدل CCT است.

مراجع

- پیرنیا، ع.، حبیب‌نژاد روشن، م.، سلیمانی، ک.، ۱۳۹۴، بررسی تغییرات دما و بارندگی در سواحل جنوبی دریای خزر و مقایسه آن با تغییرات در مقیاس جهانی و نیمکره شمالی، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال ششم، شماره ۱۱، ص ۹۰-۱۰۰.
- سبحانی، ب.، اصلاحی، ا.، بابائیان، ا.، ۱۳۹۴، کارایی الگوهای ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی متغیرهای هواشناسی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه. پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، دوره ۴۷، شماره ۴، ص ۴۹۹-۵۱۶.
- سیاری، ن.، علیزاده، ا.، بنایان اول، م.، فریدحسینی، ع.، حسامی کرمانی، م.، ۱۳۹۰، مقایسه دو مدل گردش عمومی (HadCM۳، CGCM۲) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کشف رود)، نشریه آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۴، ص ۹۱۲-۹۲۵.
- مدرسی، ف.، عراقی نژاد، ش.، ابراهیمی، ک.، خلقی، م.، ۱۳۸۹، بررسی منطقه ای پدیده تغییر اقلیم با استفاده از آزمون‌های آمار مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگانرود - قره سو، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۳، ص ۳۷۸-۴۸۹.
- Arora, V., J. Scinocca, G. Boer, J. Christian, K. Denman, G. Flato, V. Kharin, W. Lee, and W. Merryfield,

- 96, p. 181-198.
- 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.
- Watanabe, M., T. Suzuki, R. O'ishi, Y. Komuro, S. Watanabe, S. Emori, T. Takemura, M. Chikira, T. Ogura, and M. Sekiguchi, 2010, Improved climate simulation by MIROC5: Mean states, variability, and climate sensitivity: *Journal of Climate*, v. 23, p. 6312-6335.
- Wilby, R. L., S. P. Charles, E. Zorita, B. Timbal, P. Whetton, and L. O. Mearns, 2004, Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods: Supporting material of the Intergovernmental Panel on Climate Change, available from the DDC of IPCC TGCIA, v. 27, p. 1-27.
- Wilks, D. S., and R. L. Wilby, 1999, The weather generation game: a review of stochastic weather models: *Progress in physical geography*, v. 23, p. 329-357.
- Xu, C.-y., 1999, From GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modelling approaches: *Progress in physical Geography*, v. 23, p. 229-249.
- Yue, S., and P. Pilon, 2004, A comparison of the power of the t test, Mann-Kendall and bootstrap tests for trend detection/Une comparaison de la puissance des tests t de Student, de Mann-Kendall et du bootstrap pour la détection de tendance: *Hydrological Sciences Journal*, v. 49, p. 21-37.
- 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.
- Assessment of climatic parameters uncertainty under effect of different downscaling techniques: *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, v. 8, p. 838-225.
- 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.
- Semenov, M. A., and E. M. Barrow, 1997, Use of a stochastic weather generator in the development of climate change scenarios: *Climatic change*, v. 35, p. 397-414.
- Sivakumar, M., H. Das, and O. Brunini, 2005, Impacts of present and future climate variability and change on agriculture and forestry in the arid and semi-arid tropics, *Increasing climate variability and change*, Springer, p. 31-72.
- Tatebe, H., M. Ishii, T. Mochizuki, Y. Chikamoto, T. T. Sakamoto, Y. Komuro, M. Mori, S. Yasunaka, M. Watanabe, and K. Ogochi, 2012, The initialization of the MIROC climate models with hydrographic data assimilation for decadal prediction: *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, v. 90, p. 275-294.
- 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.
- 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.

Comparison of the efficiency of SDSM and CCT models in climate change studies (Case study of Karganrood watershed)

Mohammad Reza Sheikh Rabiee¹, Hamid Reza Peyrowan², Peyman Daneshkar Arasteh³, Mehry Akbary⁴, Baharak Motamedvaziri⁵

¹ Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

² Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

³ Water Science and Engineering Department, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

⁴ Department of Climatology, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

⁵ Department of Forest, Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

*Corresponding Author Email: hrpeyrowan@gmail.com

Received: 14 February 2021, accepted: 15 May 2021

ABSTRACT

Using statistical downscaling methods has been increased because the dynamic models are time-consuming and not cost-effective. This study has compared the results of two downscaling models i.e. CCT and SDSM in simulating the daily climatic parameters including precipitation, maximum, minimum and mean temperature in the Karganrood basin in Guilan province, Iran. The meteorological data of Bandar Anzali synoptic station during 1975-2018 was used as the observation period. Then, using the CCT downscaling model, MIROC climate model, SDSM downscaling model, CanESM2 climate model, daily precipitation, maximum, mean and minimum temperature of basin were simulated and compared with RCP2.6, RCP4.5, and RCP8.5 scenarios in 2025-2050, 2051-2075 and 2076-2100, respectively. NS, R² and RMSE were used to study the robustness of downscaling indices. Based on NS, R² and RMSE criteria, SDSM model in the exponential microscale of maximum, mean and minimum temperature and in precipitation except RMSE factor value of RCP2.6 scenario and in the next period 2076-2051 in all cases compared to CCT model with error. The results of the Mann-Kendall test showed that the changes of precipitation and temperature simulated in future periods in the CCT model were significant with the highest significance relating to RCP8.5. The results of Mann-Kendall test also showed that in precipitation and temperature in future periods in the CCT model was more significant than the SDSM model and the highest significance was related to the maximum temperature ($Z = 3.22$), respectively and the minimum temperature ($Z = 4.14$) at 95% confidence level is related to RCP8.5.

Keywords: Climate Change, Performance assessment, Downscaling, CCT, SDSM, Fifth Assessment Report

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Sheikh Rabiee, M.R.; Peyrowan, H.R.; Daneshkar Arasteh, P.; Akbary, M.; Motamedvaziri, B. (2021). Comparison of the efficiency of SDSM and CCT models in climate change studies (Case study of Karganrood watershed). *J. Meteorol. Atmos. Sci.*, 4(2): 128-146

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the JMAS Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

