

شبیه‌سازی و پیش‌بینی مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش در مناطق خشک (مطالعه موردی: دشت میناب)

حامد اسکندری دامنه^۱، غلامرضا زهتابیان^۲، حسن خسروی^۳، حسین آذرنبوند^۴ و علی‌اکبر براتی^۵

چکیده

شناخت و ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آینده برای برنامه‌ریزی محیطی مناسب، جهت سازگاری و کاهش اثرات آن در همه اکوسیستم‌ها بویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک امری کاملاً ضروری است لذا برای رسیدن به این امر، در این پژوهش تغییرات متوسط دما و بارش ماهانه دو ایستگاه سینوپتیک بندرعباس و میناب در دو دوره زمانی (۲۰۱۵-۲۰۴۴ و ۲۰۷۴-۲۰۴۵) و بر اساس خروجی مدل گردش عمومی جو CanESM2 و سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از آزمون من-کندال، روند این دو پارامتر ارزیابی شد. همچنین داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی با استفاده از ضرایب NS، R2 و RMSE مورد ارزیابی قرار گرفتند. بررسی این ضرایب، نشان‌دهنده توانایی بالای مدل SDSM در مدل‌سازی پارامتر بارش و دما در هر دو ایستگاه می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که بارش سالانه در سناریو RCP2.6 ایستگاه سینوپتیک بندرعباس و در سناریو RCP4.5 و RCP8.5 ایستگاه میناب کاهش می‌یابد و بیشترین کاهش در مؤلفه بارش در ایستگاه سینوپتیک میناب اتفاق می‌افتد. مقادیر درجه حرارت متوسط در دوره آتی در سناریوی انتشار RCP8.5 بیشتر از سایر سناریوهای انتشار می‌باشد. به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد که مقادیر درجه حرارت در ابتدای قرن ۲۱ در دشت میناب افزایش پیدا خواهد کرد، ولی مؤلفه بارندگی تنها در سناریو RCP2.6 افزایش می‌یابد. در حالی که در میانه قرن (۲۰۷۴-۲۰۴۵) در ایستگاه سینوپتیک میناب و بندرعباس تنها در سناریو RCP2.6، شاهد کاهش دما در مقیاس سالانه می‌باشیم. لذا با کاهش بارش و افزایش دما و نقش آن‌ها در افزایش میزان تبخیر و تعرق، پیشنهاد می‌گردد، برنامه‌ریزان و مسئولین به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش‌های بهره‌برداری از آن در این منطقه، به ویژه در بخش کشاورزی، باشند و راهکارهای لازم برای سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید در این بخش اتخاذ نمایند و خود را با شرایط آینده تطبیق دهند.

کلیدواژگان: تغییر اقلیم، گزارش پنجم، سناریو، مناطق خشک

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۲. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۳. دانشیار دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (نویسنده مسئول، ایمیل: hakhosravi@ut.ac.ir).

۴. استاد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران.

۵. استادیار دانشکده توسعه کشاورزی دانشگاه تهران.

مقدمه

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین گردیده (خسروی و همکاران، ۲۰۱۷: ۹۲) و تغییرات گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و محلی موجب شده است. این پدیده و پیامدهای ناشی از آن، به عنوان بزرگترین معضل قرن بیست و یکم مطرح است (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۴)، به طوری که پیش‌بینی می‌شود که تا سال ۲۱۰۰ تغییرات متوسط دمای جهانی از ۱/۸ درجه به ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد و سطح متوسط دریاها بین ۰/۱۸ تا ۰/۵۹ متر بالا بیاید (کاظمی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۳۷-۱۳۸؛ هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، ۲۰۰۷: ۲۰۱۳؛ آژانس محیط زیست اروپا، ۲۰۰۸) به دلیل گرمایش جهانی، آب‌وهوا از لحاظ متوسط و متغیر بارندگی تغییر خواهد کرد، به طوری که تغییرات کوچکی در آن می‌تواند تغییرات نسبتاً زیادی را در احتمال وقوع بارش‌های شدید ایجاد کند (نور و اسماعیل، ۲۰۱۸: ۱۳-۱۴). تغییر الگوی بارش در کنار تغییرات دمایی از جمله مهم‌ترین تأثیرات تغییر اقلیم به شمار می‌رود. مطمئناً برای یک برنامه‌ریزی درست برای آینده پیش‌بینی دقیق این پارامترهای اقلیمی امری کاملاً ضروری به حساب می‌آید به تازگی تلاش‌های زیادی در مجامع اقلیم‌شناسی برای توسعه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای بیان تغییر اقلیم در آینده صورت پذیرفته است (امیری و همکاران، ۱۳۹۹: ۶-۷). به طوری که ریزمقیاس‌نمایی، به عنوان یک روش در تحقیقات برای ارائه اطلاعات مربوط به تغییرات اقلیمی، تبدیل شده است. برای ریزمقیاس‌کردن متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم دو روش وجود دارد که شامل روش‌های دینامیکی و آماری می‌باشد (ولی و همکاران، ۲۰۱۷: ۲۵). روش‌های دینامیکی جزو روش‌های هزینه‌بر بوده که در ایران در دسترس نمی‌باشند. معتبرترین ابزار جهت ریزمقیاس‌کردن داده‌های GCMV استفاده از روش‌های آماری می‌باشد که در حال حاضر به عنوان ابزار مهم و مناسب برای مدل‌سازی و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی مورد توجه قرار گرفته است (گویال و همکاران، ۲۰۱۲: ۵۲۰-۵۱۹). خروجی حاصل از شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی در این مدل‌ها، اطلاعات قابل اعتمادی در مقیاس‌های فضایی برای کاربران ارائه می‌نماید (مارائون و همکاران، ۲۰۱۰: ۳-۱)، که با بررسی روند دراز مدت پارامترهای اقلیمی می‌تواند دیدگاه بهتری را جهت برنامه‌ریزی‌های آینده فراهم نماید. تحقیقات متعددی در زمینه استفاده از روش‌های آماری برای مدل‌سازی و ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی صورت پذیرفته است که در ادامه به مواردی از آنها در داخل و خارج از کشور اشاره شده است:

آقاخانی افشار و همکاران به بررسی سالیانه روند تغییرات آتی مؤلفه‌های اقلیمی در حوضه آبخیز کشف‌رود در استان خراسان رضوی با استفاده از گزارش جدید هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (گزارش پنجم)، تحت سناریوهای جدید RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 و RCP8.5 و تحت سه بازه زمانی آینده نزدیک (۲۰۰۶-۲۰۳۷)، آینده متوسط (۲۰۳۷-۲۰۷۰) و آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که تا انتهای قرن ۲۱ در

1Khosravi et al

2Kazmi et al

3Intergovernmental Panel on Climate Change

4European Environment Agency et al

5Noor & Ismail

6Weli et al

7General circulation models

8Goyal et al

9Maraun et al

مقایسه با دوره تاریخی در تمامی مناطق حوضه آبخیز کشف رود و با در نظر گرفتن تمامی مدل‌ها و سناریوها، به طور متوسط دمای حوضه بین ۰/۵۶ تا ۳/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش به میزان ۱۰/۷ درصد کاهش را از خود نشان می‌دهد (آقاخانی افشار و همکاران ۱۳۹۵: ۲۱۷). منصوری و همکاران به بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به مخزن سد کارون ۴ براساس گزارشات چهارم و پنجم IPCC برای دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ پرداختند، نتایج تحقیق آنها نشان داد که متوسط بارش سالانه در پنج ایستگاه مورد بررسی تحت سناریوهای B1 و RCP 2/6 به ترتیب ۱۵ و ۵ درصد افزایش و تحت سناریوهای A2 و RCP 8/5، به ترتیب ۸ و ۶ درصد کاهش را نشان می‌دهد، همچنین متوسط دمای سالانه در تمام سناریوها، افزایش را نشان می‌دهد که مقدار این افزایش حداقل ۱/۰۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوها B1 و حداکثر ۱/۸۹ درجه سانتی‌گراد تحت سناریو RCP 8/5 است (منصوری و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۴۵). مهر آذر و همکاران به بررسی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد در گزارشی ارزیابی پنجم IPCC پرداختند. نتایج حاصل از بررسی سناریوهای اقلیمی در تحقیق آنها نشان داد درجه حرارت سالانه به طور متوسط در دوره آتی تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5 به ترتیب ۱/۳۴، ۱/۶۹، ۱/۵۲، ۱/۸۱ درجه سلسیوس نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. و همچنین نتایج تحقیق آنها حاکی از عدم روند منظم صعودی یا نزولی در تغییرات ماهانه بارندگی است (مهر آذر و همکاران، ۱۳۹۷: ۴۵). عساکره و اکبرزاده ۱۳۹۶ به شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و خروجی مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های آینده ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی تحقیق آنها نشان داد که در دوره‌های آینده دما در ایستگاه تبریز بر اساس سه سناریوی مورد بررسی افزایش خواهد یافت. این افزایش برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ محسوس تر خواهد بود و همچنین به‌طور کلی بارش در سه سناریوی مورد بررسی برای دو دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ کاهش و برای دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ افزایش می‌یابد (عساکره و اکبرزاده، ۱۳۹۶: ۱۵۳). گودرزی و فاتحی‌فر به پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی متغیرهای دما و بارش تحت جدیدترین سناریوهای انتشار گزارش پنجم هیئت بین الدول تغییر اقلیم حوضه آذرشهر چای پرداختند، نتایج ارزیابی مدل SDSM در تحقیق آنها نشان داد که افزایش ۰/۲۳ درجه سانتی‌گراد دما و ۴/۵۳ درصدی بارش و دبی‌های حداکثر در دوره آتی ۲۰۵۹-۲۰۳۰ در این منطقه پیش‌بینی شده است (گودرزی و فاتحی‌فر ۱۳۹۷: ۹۹).

چما و همکاران، عملکرد روش ریزمقیاس نمایی SDSM را بر روی داده‌های حداقل دمای ایستگاه‌های کشور پاکستان را در دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۹۱ با استفاده از آزمون من‌کنندال مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بررسی آنها نشان داد که طبق آزمون من-کنندال روند افزایشی حداقل دمای سالانه معنی‌دار است همچنین نتایج بررسی آنها نشان داد که تغییر معنی‌دار اقلیمی بیشتر در نواحی شمالی کشور پاکستان رخ داده است (چما و همکاران، ۲۰۱۱: ۶۳). تان و همکاران به ارزیابی اثرات بالقوه تغییرات آب‌وهوا بر منابع آب حوضه رودخانه کلانتان در مالزی بیان داشتند که بارش سالانه و ماکزیمم دما به میزان ۱/۲ تا ۸/۷ درصد و ۰/۶ تا ۲/۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب افزایش می‌یابد. همچنین نتایج آنها نشان داد که بارش در فصول تر افزایش و در فصول خشک کاهش می‌یابد (تان و همکاران، ۲۰۱۷: ۱). فولکرن و همکاران در بررسی اثرات بالقوه تغییرات آب‌وهوایی در حوضه آبخیز Huai Luang در شمال شرقی تایلند از دو مدل SEACAM و CanESM2 به همراه شش سناریوی اقلیمی استفاده نمودند. نتایج نشان داد که ظرف

۱Cheema et al

۲Tan

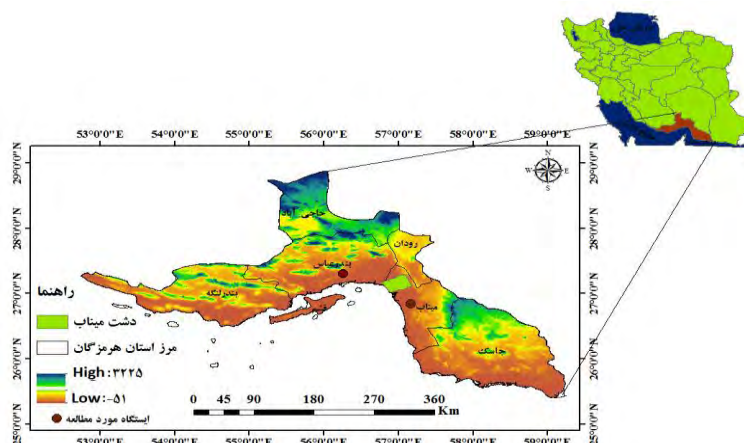
۳Pholkern et al

۳۰ سال آینده بارش به ترتیب به میزان ۲۰/۸۵ و ۱۸/۳۵٪ در مدل‌های SEACAM و CanESM2 افزایش می‌یابد (فولکرن و همکاران، ۲۰۱۸: ۱۵۱۸). نیلاوار و وایکرا به بررسی اثر تغییر اقلیم بر جریان و غلظت رسوبات رودخانه purna در کشور هند پرداختند نتایج حاصل از تغییر اقلیم تحت سناریوهای RCP4.5, RCP 8.5 در تحقیق آنها در چهار دوره مورد بررسی نشان داد که: پارامترهای بارش و دما در چهار دوره مورد بررسی (۲۰۳۱-۲۰۰۹، ۲۰۵۳-۲۰۳۲، ۲۰۷۵-۲۰۵۴ و ۲۰۷۶-۲۰۹۹) نسبت به شرایط مینا افزایش پیدا می‌کند (نیلاوار و وایکر، ۲۰۱۹: ۲۶۸۵). با توجه به وضعیت اقلیمی حاکم بر کشور ایران که توأم با خشکسالی‌های با شدت و تداوم‌های مختلف، بالاخص خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی متعدد می‌باشد، لزوم انجام تحقیقات کاربردی در رابطه با تغییر اقلیم امری ضروری است. با توجه به قرار گرفتن دشت میناب در منطقه خشک و نیمه‌خشک و از طرفی به دلیل بهره‌برداری بیش از حد از منابع آب زیرزمینی در این دشت، تصمیم به ارائه تحقیقی جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم گردید. بنابراین هدف از این مطالعه ارزیابی تغییرات پارامترهای اقلیمی تحت تأثیر تغییرات آب‌وهوایی با استفاده از مدل‌های GCM جهت تشخیص تغییرات پارامترهای بارندگی و دما در اوایل و میانه‌های قرن ۲۱ (۲۰۴۶-۲۰۷۴، ۲۰۱۵-۲۰۴۵) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

دشت میناب در حدفاصل بین مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده‌است. این منطقه از جهت شمال و شمال شرقی با استان کرمان، غرب و شمال غربی با استان‌های فارس و بوشهر از شرق با سیستان و بلوچستان همسایه بوده و جنوب آن را آب‌های گرم خلیج فارس و دریای عمان در نواری به طول تقریبی ۹۰۰ کیلومتر دربرگرفته است. این دشت دارای متوسط دمای هوای سالانه ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد با میانگین رطوبت نسبی ۶۸ درصد است. میانگین نزولات سالیانه در این منطقه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر با پراکنش زمانی و مکانی هماهنگ و غالباً به صورت رگبارهای شدید به همراه سیلاب‌های مخرب و زودگذر است. با توجه به مشخصات اقلیمی و استقرار دشت میناب در منطقه فوق حاره‌ای، گرمی هوا مهمترین پدیده مشهود اقلیمی آن است. این منطقه از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای نیمه بیابانی و بیابانی قرار دارد هوای نوار ساحلی در تابستان‌ها بسیار گرم و مرطوب است و گاهی نیز دمای آن از ۵۲ درجه سانتی‌گراد تجاوز می‌کند. از ویژگی‌های آب و هوایی این منطقه، یک فصل طولانی گرم و یک فصل کوتاه خنک است (اسکندری دامنه و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۵). فصل گرم همراه با هوای شرجی ۹ ماه به درازا می‌کشد شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در این منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در این تحقیق داده‌های بارش و دما روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک میناب و بندرعباس جهت بررسی پدیده تغییر اقلیم طی دوره زمانی (۱۹۸۲-۲۰۰۵) جمع‌آوری گردید. پس از جمع‌آوری اطلاعات، به منظور بررسی تغییرات اقلیمی از نرم‌افزار SDSM 4.2 و استفاده گردید و مراحل انجام این تحقیق به شرح زیر می‌باشد:

بررسی وضعیت تغییر اقلیم

در این پژوهش برای شناخت و ارزیابی تغییرات بارش و دما در دشت میناب طی دهه‌های آینده از مدل SDSM 4.2 به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمایی آماری بر روی خروجی مدل‌های بزرگ مقیاس جوی، استفاده شده است. مدل ریزمقیاس سازی SDSM 4.2 در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسط (ویلی و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۵۰)، توسعه یافت. فرآیند ریزمقیاس گردانی عامل ایجاد کننده ارتباط میان متغیرهای اقلیمی در مقیاس ایستگاه مشاهداتی (پیش‌بینی شونده‌ها) و متغیرهای بزرگ مقیاس جوی (پیش‌بینی کننده‌ها) است (ویلی و داوسون، ۲۰۱۳: ۱۷۱۰-۱۷۰۸)، داده های بزرگ مقیاس جوی شامل پیش‌بینی کننده‌های مرکز NCEP در دوره مشابه دیده‌بانی (۲۰۰۵-۱۹۸۲) و برون‌داد مدل بزرگ مقیاس CanESM2 تحت سناریوهای موجود در دوره مشابه دیده‌بانی و در دو دوره آینده (۲۰۱۵-۲۰۴۴ و ۲۰۷۴-۲۰۴۵) از تارنمای مرکز داده‌های تغییر اقلیم کانادا به صورت خام استخراج گردید در سناریوی RCP2.6 که کم‌ترین RCP می‌باشد واداشت تابشی تا سال ۲۰۵۰ به اوج خود می‌رسد و بعد از آن روند کاهشی را دنبال می‌کند. در سناریوی RCP4.5، که یک سناریوی ثابت با افزایش 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 و در مرحله بعد پیش‌بینی کننده‌های این مدل نسبت به میانگین و انحراف معیار دوره مشاهداتی (۱۹۸۲-۲۰۰۵) نرمالیزه گردیدند. سپس جهت شناسایی و انتخاب پیش‌بینی کننده‌های مناسب و دارای قویترین ارتباط معنی‌داری با بارش و دما مشاهداتی هر ایستگاه در سطح ۹۵ درصد از تحلیل همبستگی بین پیش‌بینی کننده‌ها (با هم) و با پیش‌بینی شونده از تحلیل همبستگی جزئی استفاده شد. در بررسی

Statistical DownScaling Model

Wilby

Wilby & Dawson

National center Environmental prediction

موضوعات اقلیمی، مدل‌های گزارش پنجم و داده‌های مشاهداتی با معیارهای ارزیابی نظیر ضریب تبیین (R^2)، نش سائکلیف (NS)، و جذر ریشه مربعات خطا (RMSE) مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرند (رابطه ۱ تا ۳).

رابطه (۱)

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

رابطه (۲)

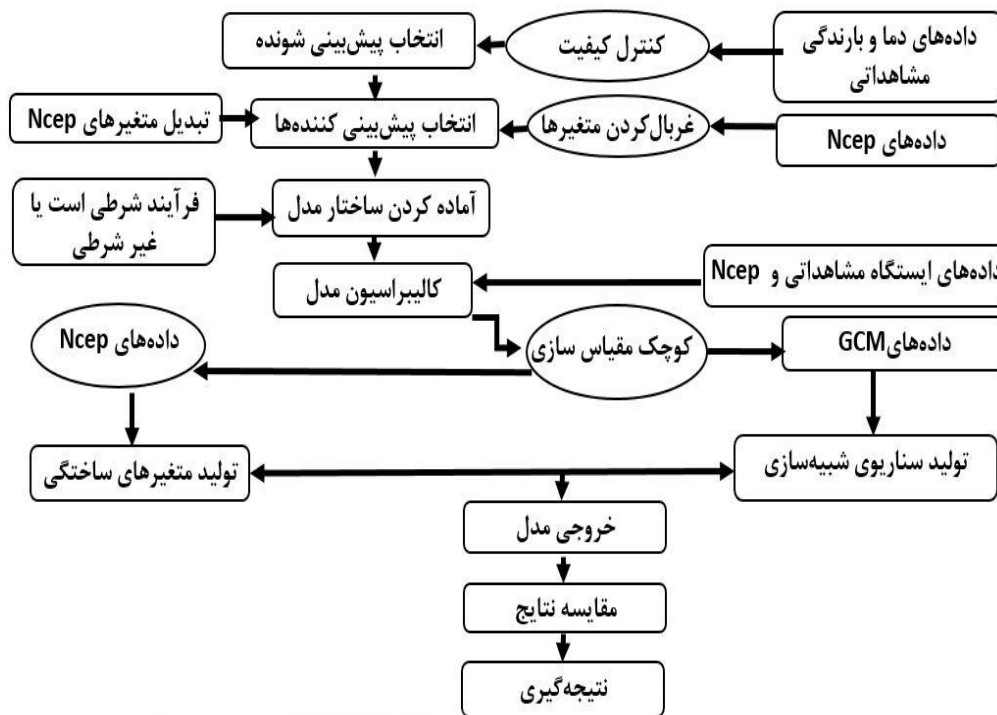
$$NS = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obst} - y_{modelt})^2}{\sum_{t=1}^T (x_{obst} - \bar{x}_{obs})^2}$$

رابطه (۳)

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{models})^2}}{T}$$

که در آنها X_{obst} مقادیر داده‌های مشاهداتی و Y_{modelt} مقادیر داده‌های شبیه‌سازی مدل‌های گزارش پنجم در واحد زمانی t و \bar{X}_{obs} و \bar{Y}_{model} نیز به ترتیب میانگین مقادیر داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بارش و دما در کل دوره زمانی ارزیابی (دوره پایه) می‌باشد (اسکندری دامنه و همکاران، ۲۰۱۷؛ ۹۰۸-۹۰۹). در نهایت با توجه به معادلات آماری و رگرسیون کالیبره شده بین پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس مرکز NCEP با پارامترهای بارش و دما مشاهداتی، فرآیند ریزمقیاس‌نمایی بر روی داده‌های آینده مدل CanESM2 تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 انجام شد و سرانجام بر این اساس سری داده‌های روزانه بارش و دما در مقیاس ایستگاهی برای دوره آتی شبیه‌سازی و تولید گردیدند (شکل ۲).

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲: مراحل ریزمقیاس‌سازی پارامتر بارش و دما در نرم‌افزار SDSM4.2

آزمون ناپارامتری من کندال

این آزمون ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۷۰) تکامل یافت. آماره آزمون من-کندال از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد (خسروی و همکاران، ۲۰۱۸: ۸۰-۷۹).

$$U_{tT} = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (4)$$

آماره آزمون من کندال، X_i و X_j داده‌های متوالی، n طول سری زمانی و $\text{sgn}(x_i - x_j)$ تابع علامت بوده که از رابطه (۲) تعیین می‌شود (عراقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۰-۱۹):

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x_i > x_j) \\ 0 & \text{if } (x_i = x_j) \\ -1 & \text{if } (x_i < x_j) \end{cases} \quad (5)$$

میانگین $E(S)$ و واریانس آماره به ترتیب زیر بدست می‌آید:

$$E(S) = 0$$

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^n tp(p)(p-1)(2p+5)}{18} \quad (6)$$

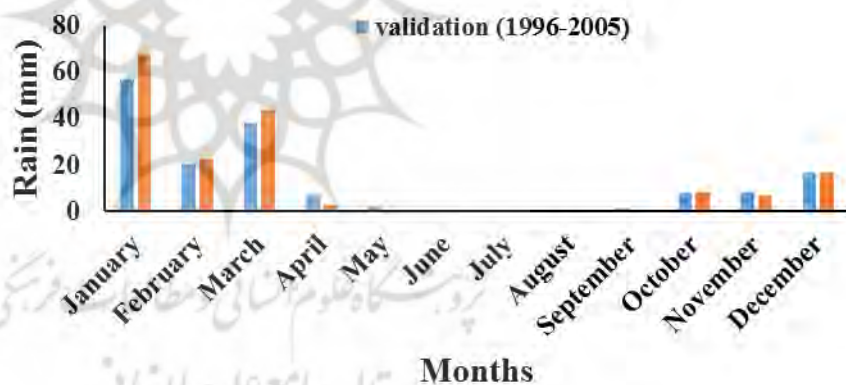
t_p تعداد دنباله‌ها برای p امین مقدار و p تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون Z از رابطه زیر بدست می‌آید (اسکندری دامنه و همکاران ۱۳۹۸: ۴۶۵).

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 1 \\ 0 & \text{if } s > 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 1 \end{cases} \quad (7)$$

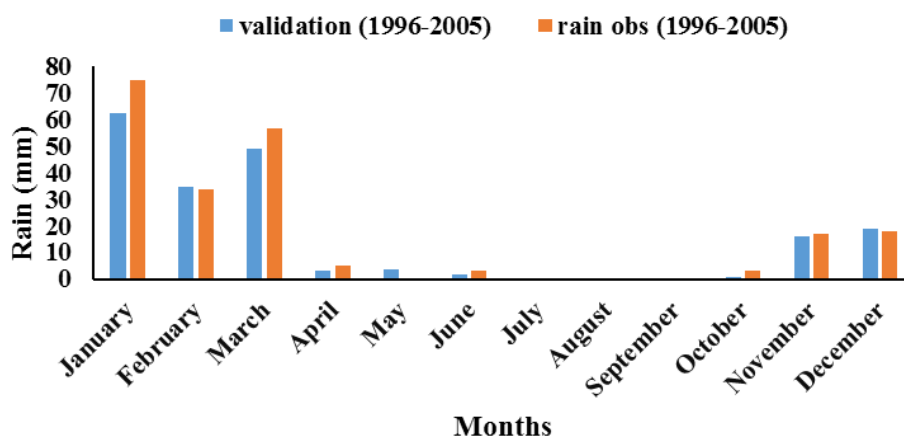
مقدار مثبت Z روند افزایش و مقدار منفی Z روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد (خسروی و همکاران ۲۰۱۷).

نتایج

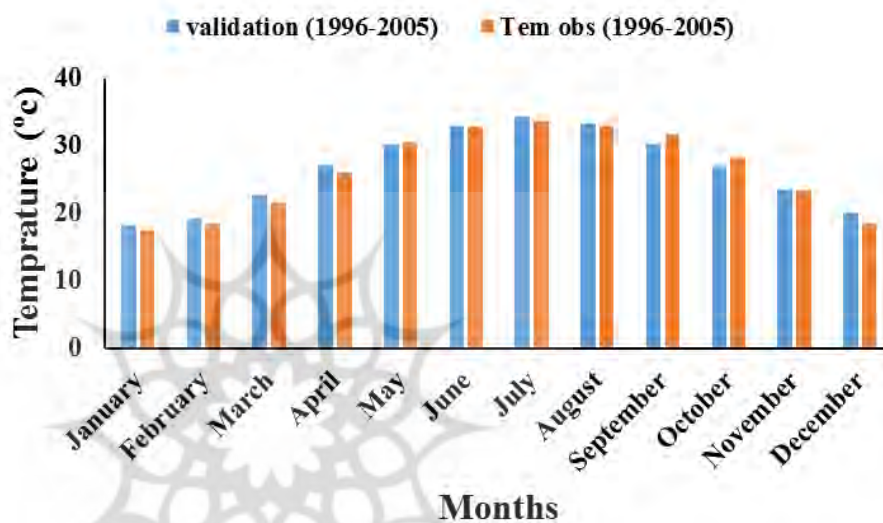
نتایج صحت‌سنجی پارامتر دما در طی دوره (۱۹۹۶-۲۰۰۵) با استفاده از ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه بندرعباس و میناب به ترتیب برابر با ۰/۹۴۳ و ۱/۰۷ می‌باشد و نشان دهنده این است که پارامتر دما در ایستگاه بندرعباس بهترین تطابق را با داده‌های مشاهداتی دارد. با توجه به دامنه تغییرات بارندگی در طول سال، نتایج نمودار صحت‌سنجی پارامتر بارش نشان داد که همانند صحت‌سنجی پارامتر دما، ریشه میانگین مربعات خطا در ایستگاه بندرعباس و میناب به ترتیب ۳/۸۱ و ۴/۴۴ می‌باشد و این نشان می‌دهد که پارامتر بارش در ایستگاه بندرعباس بهترین تطابق را با داده‌های مشاهداتی دارد (نمودار ۱ تا ۴).



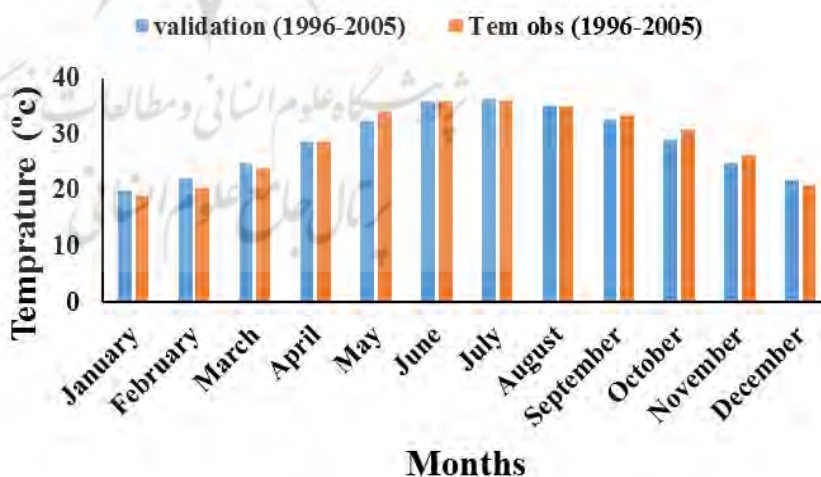
نمودار ۱: صحت‌سنجی میانگین بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در دوره (۱۹۹۶-۲۰۰۵)



نمودار ۲: صحت‌سنجی میانگین بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک میناب در دوره (۲۰۰۵-۱۹۹۶)

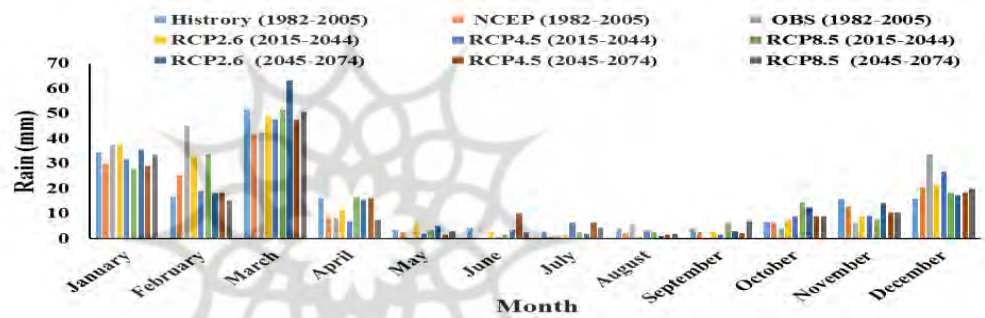


نمودار ۳: صحت‌سنجی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در دوره (۲۰۰۵-۱۹۹۶)



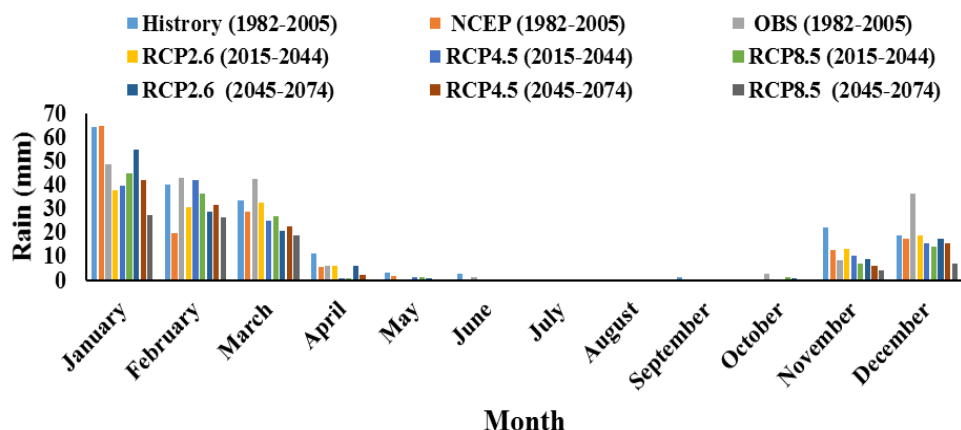
نمودار ۴: صحت‌سنجی میانگین دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک میناب در دوره (۲۰۰۵-۱۹۹۶)

با توجه به رفتار اقلیم دو ایستگاه بندرعباس و میناب در دوره گذشته و همچنین سه سناریوی اقلیمی تهیه شده از خروجی مدل CanESM2، میزان بارش‌های ماهانه و متوسط دما دو ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه در دو دوره (۲۰۱۵-۲۰۴۴ و ۲۰۷۴-۲۰۴۵) محاسبه گردید. پس از کالیبراسیون، تحلیل آماری و صحت‌سنجی داده‌های مشاهداتی و به دنبال آن تولید و بررسی داده‌های آب و هوایی توسط مدل SDSM، نتایج نهایی در مقایسه صورت گرفته حاکی از کاهش ۱/۰۸ و ۹/۸۳ درصدی بارش سالانه در سناریو RCP2.6 و RCP4.5 و افزایش ۱۳/۹۳ درصدی آن در سناریو RCP8.5 در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس می‌باشد. بارش ماه فوریه، آگوست و دسامبر در سناریو RCP2.6 کاهش یافته اما بارش سایر ماه‌ها روند افزایشی دارد و در دو سناریو دیگر بارش‌ها در فصل زمستان روند کاهشی دارد. بیشترین افزایش میانگین ماهانه بارندگی مربوط به ماه مارس به میزان ۹/۴۱ میلی‌متر در سناریو RCP8.5 و بیشترین کاهش مربوط به ماه فوریه به میزان ۲۶/۳۸ میلی‌متر در سناریو RCP4.5 خواهد بود، همچنین نتایج برای دوره دوم حاکی از کاهش ۱۰/۲۸ و ۳/۹۹ درصدی بارش سالانه در سناریو RCP4.5 و RCP8.5 و افزایش ۳/۹۱ درصدی آن در سناریو RCP2.6 در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس می‌باشد. همچنین بارش‌ها در فصل زمستان و اواخر فصل تابستان کاهش یافته است. بنظر می‌رسد الگوی بارش‌های فصل سرد به انتهای این فصل جابجا شده‌اند. همچنین بارش‌های مونسونی یا تابستانه در مقایسه با دوره آماری افزایش خواهد یافت. که حاکی از افزایش قدرت مونسون در دهه‌های آینده می‌باشد (نمودار ۵).



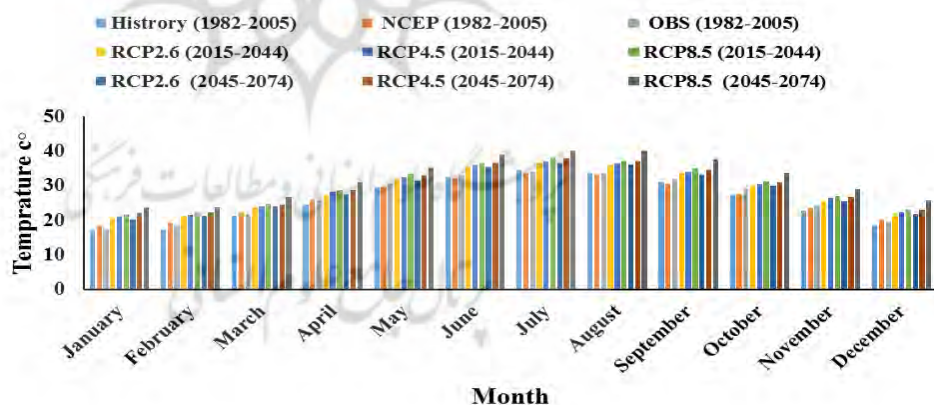
نمودار ۵: میانگین تغییرات بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک بندرعباس طی دوره‌های (۲۰۷۴-۲۰۴۵ و ۲۰۱۵-۲۰۴۴)، تاریخی و پیش‌بینی کننده‌ها نسبت به دوره پایه

در ایستگاه سینوپتیک میناب در دوره اول شاهد کاهش بارندگی در تمامی ماه‌ها به جز ماه‌های می و نوامبر در هر سه سناریو می‌باشیم. همچنین بیشترین کاهش میزان بارندگی در هر سه سناریو در ماه دسامبر به طور متوسط ۲۰/۵۰ میلی‌متر صورت گرفته است. در حالی که در دوره دوم بیشترین افزایش بارندگی در سناریو RCP2.6 به ترتیب برای ماه‌های ژانویه، نوامبر و می به میزان ۵/۹۵، ۰/۶۷ و ۰/۴۵ میلی‌متر و در سناریو RCP4.5 شاهد افزایش بارندگی تنها در ماه می به میزان ۰/۳۶ میلی‌متر و در سناریو RCP8.5 شاهد کاهش بارندگی در تمام فصول سال نسبت به دوره آماری می‌باشیم، به طوری که شاهد کاهش ۲۹/۹۵ درصدی بارش سالیانه برای سناریو RCP8.5 در دوره دوم هستیم. به عبارتی شاهد کاهش ۱۵/۵۳، ۴ و ۱/۰۵ درصدی بارش سالیانه به ترتیب در هر سه سناریو RCP8.5، RCP4.5 و RCP2.6 نسبت به دوره اول می‌باشیم (نمودار ۶).

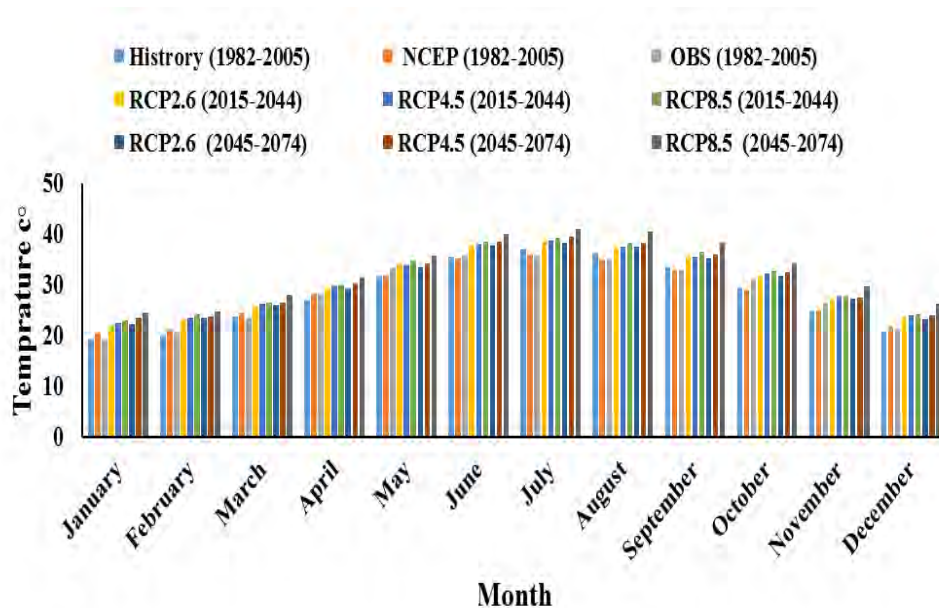


نمودار ۶: میانگین تغییرات بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک میناب طی دوره‌های (۲۰۷۴-۲۰۴۵ و ۲۰۴۴-۲۰۱۵)، تاریخی و پیش‌بینی کننده‌ها نسبت به دوره پایه

نتایج مدل نشان می‌دهد که میانگین دمای ایستگاه سینوپتیک بندر در دوره (۲۰۱۵-۲۰۴۴) در مقایسه با دوره آماری در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5، ۲/۰۵، ۲/۵۴ و ۳/۳۶ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است و همچنین شاهد افزایش این مقادیر در ایستگاه سینوپتیک میناب به میزان ۱/۸۶، ۲/۲۵ و ۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد هستیم. به طوری که نتایج نشان دهند آن است که بیشترین افزایش دما مربوط به ایستگاه سینوپتیک بندر می‌باشد. از بین دو ایستگاه بررسی شده در مقیاس ماهانه ایستگاه سینوپتیک بندر بیشترین افزایش دما را به میزان ۵/۵۴ درجه سانتی‌گراد در سناریو RCP8.5 به خود اختصاص داده است و این مقادیر در ایستگاه میناب در این سناریو به ترتیب به میزان ۴/۲۹ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در مقیاس ماهانه در سناریو RCP2.6 در هر دو ایستگاه شاهد افزایش دما در تمامی ماه‌ها هستیم. همانند دوره اول شاهد افزایش دما در دوره دوم می‌باشیم. به طوری که تغییرات افزایش دما از سمت فصول زمستان صورت گرفته است و در صورت رخ دادن بارش برف در منطقه، تغییرات تدریجی برف از فصل زمستان شروع می‌گردد (نمودار ۷، ۸).



نمودار ۷: میانگین تغییرات دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک بندر عباس طی دوره‌های (۲۰۷۴-۲۰۴۵ و ۲۰۴۴-۲۰۱۵)، تاریخی و پیش‌بینی کننده‌ها نسبت به دوره پایه



نمودار ۸: میانگین تغییرات دمای ماهانه ایستگاه سینوپتیک میناب طی دوره‌های (۲۰۷۴-۲۰۴۵ و ۲۰۴۴-۲۰۱۵)، تاریخی و پیش‌بینی کننده‌ها نسبت به دوره پایه

در این قسمت ارزیابی مدل برای میانگین ماهانه دما و بارش، صورت گرفته است. برای مقایسه نتایج دیده بانی و مدل در دو ایستگاه مورد بررسی، سه پارامتر ناش-ساتکلیف، ضریب تبیین (R^2) و RMSE نشان داده شده است (جدول ۱). نتایج نشان می‌دهد که توانمندی SDSM در مدل‌سازی دما بسیار خوب می‌باشد، اما توانمندی مدل در مدل‌سازی بارش در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس قابل قبول و در ایستگاه میناب خوب می‌باشد که بیشترین خطای مدل‌سازی در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس مربوط به بارش ماه نوامبر، دسامبر، فوریه و مارس، در ایستگاه سینوپتیک میناب مربوط به ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و مارس می‌باشد. همچنین نتایج مدل‌سازی بین دما، بارش و متغیرهای NCEP حاکی از دقت بالای مدل‌سازی است که با توجه به معیارهای ارزیابی برای پارامتر دما در کلاس مدل‌سازی بسیار خوب در هر دو ایستگاه و برای پارامتر بارش در ایستگاه بندرعباس در کلاس بسیار خوب و برای ایستگاه میناب در کلاس خوب قرار گرفت.

جدول ۱: مقادیر خطا بارش و دما و مدل CanESM2 طی دوره ۱۹۸۲-۲۰۰۵

معیار ارزیابی (Evaluation Criteria)			پارامتر	area
RMSE	ضریب تبیین (R^2)	ناش-ساتکلیف (NS)		
۱۰/۹۵	۰/۶۱	۰/۶۱	بارش	بندرعباس
۱/۰۱	۰/۹۹	۰/۹۷	دما	
۸/۵۵	۰/۸۲	۰/۸۰	بارش	میناب
۱/۰۲	۰/۹۸	۰/۹۷	دما	

جدول ۲: مقادیر خطا بارش و دما و NCEP طی دوره ۱۹۸۲-۲۰۰۵

معیار ارزیابی (Evaluation Criteria)			پارامتر	area
RMSE	ضریب تبیین (R^2)	ناش-ساتکلیف (NS)		
۷/۶۰	۰/۸۷	۰/۸۳	بارش	بندرعباس

دما	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۸۹
بارش	۰/۸۸	۰/۸۸	۵/۴۲
دما	۰/۹۷	۰/۹۸	۱/۰۴

نوسانات در روند متغیرهای هواشناسی از جمله بارندگی و دما یکی از ویژگی‌های چرخه اتمسفری است، از روش آزمون من- کندال برای نشان دادن روند تغییرات در پارامترهای اقلیمی استفاده شد. روند تغییرات بارش و دما برای دوره پایه و دو دوره آتی (۲۰۷۴-۲۰۴۵ و ۲۰۱۵-۲۰۴۴) در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس و میناب به ترتیب در جداول (۳ و ۴) نشان داده شده است.

جدول ۳: نتایج حاصل از آزمون من-کندال در ایستگاه سینوپتیک بندرعباس در مدل CanESM2

پارامتر	سال	سناریو	pValue	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بارش	۲۰۱۴-۱۹۸۲	-	۰/۰۳۱	-۰/۱۶۸	-۲/۴۸۷	دارای روند
			۰/۰۰۰۱<	۰/۴۱۹	۰/۰۳۲	دارای روند
بارش	۲۰۴۴-۲۰۱۵	RCP2.۶	۰/۷۱۵	-۰/۰۲۰	-۰/۳۲	بدون روند
			۰/۰۰۰۱<	۰/۳۷۴	۰/۰۲۸	دارای روند
بارش	۲۰۷۴-۲۰۴۵	RCP2.۶	۰/۲۴۳	-۰/۰۴۴	-۰/۴۷۱	بدون روند
			۰/۱۲۵	-۰/۰۷۱	-۰/۰۰۴	بدون روند
بارش	۲۰۴۴-۲۰۱۵	RCP4.۵	۰/۰۲۵	۰/۰۹۹	۱/۶۶۹	دارای روند
			۰/۰۰۰۱<	۰/۶۸۵	۰/۰۵۲	دارای روند
بارش	۲۰۷۴-۲۰۴۵	RCP4.۵	۰/۶۵۹	۰/۰۲۱	۰/۳۱۸	بدون روند
			۰/۰۰۰۱<	۰/۳۹۸	۰/۰۲۵	دارای روند
بارش	۲۰۴۴-۲۰۱۵	RCP8.۵	۰/۰۲۵	۰/۵۳۰	۰/۳۸۹	دارای روند
			۰/۰۰۰۱<	۰/۶۱۱	۰/۰۵۶	دارای روند
بارش	۲۰۷۴-۲۰۴۵	RCP8.۵	۰/۰۰۰۱<	-۰/۲۸۳	-۲/۵۶۸	دارای روند
			۰/۰۰۰۱<	۰/۷۰۶	۰/۰۶۸	دارای روند

جدول ۴: نتایج حاصل از آزمون من-کندال در ایستگاه سینوپتیک میناب در مدل CanESM2

پارامتر	سال	سناریو	pValue	Kendall's tau	Sen's slope	روند
بارش	۲۰۱۴-۱۹۸۲	-	۰/۴۹۰	-۰/۰۳۶	-۰/۸۱۸	بدون روند
			۰/۰۵۹	۰/۰۹۷	۰/۰۱۱	بدون روند
بارش	۲۰۴۴-۲۰۱۵	RCP2.۶	۰/۶۲۴	۰/۰۳۴	۰/۳۱۴	بدون روند
			۰/۰۰۰۱۹	۰/۲۴۱	۰/۰۱۸	دارای روند
بارش	۲۰۷۴-۲۰۴۵	RCP2.۶	۰/۸۴۸	-۰/۰۱۱	-۰/۰۶۸	بدون روند
			۰/۲۵۸	-۰/۰۷۶	-۰/۰۰۷	بدون روند
بارش	۲۰۴۴-۲۰۱۵	RCP4.۵	۰/۸۹۱	-۰/۰۱۰	-۰/۰۳۹	بدون روند
			۰/۰۰۰۱<	۰/۶۱۱	۰/۰۴۶	دارای روند
بارش	۲۰۷۴-۲۰۴۵	RCP4.۵	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱	۰/۸۸۸	بدون روند

دارای روند	۰/۰۱	۰/۱۴۵	۰/۰۳۴			دما
بدون روند	-۰/۷۳۴	-۰/۰۶۹	۰/۲۵۹	RCP8. ۵	۲۰۴۴-۲۰۱۵	بارش
دارای روند	۰/۰۴۷	۰/۵۵۷	۰/۰۰۰۱<			دما
دارای روند	-۳/۹۶۷	-۰/۴۳۰	۰/۰۰۰۱<		۲۰۷۴-۲۰۴۵	بارش
دارای روند	۰/۰۵۳	۰/۵۵۹	۰/۰۰۰۱<			دما

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به منظور بررسی تغییرات اقلیم در دشت میناب از مدل‌گزارش پنجم CanESM2 هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم و سناریوهای جدید انتشار در بازه زمانی آینده نزدیک و میانه (۲۰۴۵-۲۰۷۴ و ۲۰۴۴-۲۰۱۵)، بهره گرفته شد. همچنین به منظور روشن نمودن روند تغییرات سالانه مؤلفه‌های بارش و درجه حرارت به عنوان ورودی‌های مدل‌های هیدرولوژیکی از آزمون غیرپارمتری من-کندال استفاده گردید.

نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل‌های گزارش پنجم نتایج نشان داد که مدل CanESM2 در مؤلفه بارش و دما، در هر دو ایستگاه از دقت مناسبی برخوردار است که با نتایج (آقاخانی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۱۷) که از بین ۱۴ مدل اقلیمی گزارش پنجم، چهار مدل GFDL-ESM2G، MICRO-ESM، NorESM1-M و IPSL-CM5A-MR به عنوان مدل بهینه اقلیمی در حوزه آبخیز کشف رود انتخاب گردید، مطابقت دارد.

از طرفی نتایج این مطالعه در مقیاس سالانه نشان می‌دهد که مقادیر درجه حرارت در ابتدای قرن ۲۱ در دشت میناب افزایش پیدا خواهد کرد، ولی مؤلفه بارندگی تنها در سناریو RCP2.6 افزایش می‌یابد. در حالی که در میانه قرن (۲۰۴۵-۲۰۷۴) در ایستگاه سینوپتیک میناب و بندرعباس تنها در سناریو RCP2.6 شاهد کاهش دما اتفاق می‌افتد و در دو سناریوی دیگر افزایش دما رخ می‌دهد. همچنین بررسی نتایج بارش ماهانه نشان داد که در بعضی از سناریوهای انتشار، شاهد پیش‌بینی زیاد بارش می‌باشیم که با نتایج (روول و همکاران، ۲۰۱۶: ۶۲۱) برای دامنه نوسان زیاد پیش‌بینی بارش در مقایسه مدل‌های مختلف GCM را بیان نمودند، مطابقت دارد.

نتایج حاصل از بررسی آزمون ناپارامتری من-کندال بر روی مؤلفه بارش بیانگر آن است که در ایستگاه سینوپتیک میناب و بندرعباس در بعضی از سناریوها روند معنی‌داری در کاهش یا افزایش این متغیر مشاهده نگردید که با نتایج (باقر پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲-۱۱)؛ (حق‌شناس گتایی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱)؛ (انصاری و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۷۰-۱۶۹) و کگگنهوف و همکاران، ۲۰۱۴) که بیان داشتند روند معنی‌داری در افزایش و کاهش پارامتر بارش در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود نداشته است و تنها تغییرات به صورت ناگهانی یا تغییرات در نوع الگوی بارش مشاهده می‌شود، مطابقت دارد. بنابراین انتظار می‌رود که بیشترین کاهش در مؤلفه بارش در ایستگاه سینوپتیک میناب رخ می‌دهد که با نتایج (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹) که بیان داشتند بارش برای نواحی جنوب کشور برای دهه‌های آتی، کاهش می‌یابد، در این رابطه مطابقت دارد.

نتایج حاصل از بررسی متوسط تغییرات دمای سالانه در ایستگاه سینوپتیک میناب و بندرعباس نشان داد که این متغیر دارای روند صعودی معنی‌دار در سطوح اطمینان ۹۹ و ۹۵ درصد در همه سناریوها به جزء در سناریو rcp2.6 می‌باشد که با نتایج (ورشایوان و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۷۰-۱۶۹)، در بررسی سری‌های زمانی حاصل از دمای میانگین روزانه در ایستگاه سینوپتیک کرمان روند معنی‌دار افزایشی نشان داد و با نتایج (حق‌شناس گتایی و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۱۱) که

Rowell et al

Keggenhoff et al

بیان داشتند که متوسط دما، حداقل دما و حداکثر دمای استان تهران طی دهه اخیر دست خوش تغییراتی شده است و در تمام ایستگاه‌ها روند افزایشی دیده می‌شود. مطابقت دارد به عبارتی این متغیر دارای روند افزایشی در هر دو ایستگاه مذکور می‌باشد به طوری که با نزدیک شدن به سال ۲۰۷۴ این افزایش دما چشمگیر می‌باشد که با نتایج (هدجینی کولاهو و زاچاریادیس، ۲۰۱۴: ۸۹۹) که بیان داشتند که میانگین روزانه دما روند افزایشی به میزان ۱ تا ۲ درجه سانتی گراد طی دوره آینده نزدیک و میانه دارد، مطابقت دارد به گونه‌ای که این روند از سناریوی انتشار RCP2.6 تا RCP8.5 در حال افزایش است 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. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت نشانه‌های تغییر اقلیم در حوزه دشت میناب، به ویژه از نظر دما، قابل مشاهده است که با نتایج (اول و همکاران، ۲۰۱۶: ۳-۲ و کریمی و نبی‌زاده، ۱۳۹۷: ۲۶۷) مطابقت دارد. بنابراین در انتها می‌توان اذعان نمود که با کاهش بارش و افزایش دما و نقش آن‌ها در افزایش میزان تبخیر و تعرق، باید به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش‌های بهره‌برداری از آن در این منطقه بود و برنامه‌ریزی‌های آینده توسط برنامه‌ریزان و مسئولین باید به گونه‌ای باشد که تغییرات پیش‌رو آثار زیان‌باری در بخش‌های مختلف آب در دشت میناب به وجود نیابد. یکی از این بخش‌ها که باید خود را با شرایط آینده تطبیق دهد و تغییراتی در این زمینه در آن صورت پذیرد، بخش کشاورزی است. این بخش باید راهکارهای لازم متناسب با این منطقه برای سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید از طریق تغییر نوع سیستم آبیاری و نوع الگوی کشت اتخاذ نماید و خود را با شرایط آینده سازگار کند.



منابع

۱. انصاری، مریم؛ توری، غلامرضا؛ فتوحی، صمد (۱۳۹۵). روند تغییرات دما، بارش و دبی با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز رودخانه کاجو استان سیستان و بلوچستان). پژوهش نامه مدیریت حوزه آبخیز دوره ۷، شماره ۳، صفحات ۱۵۸-۱۵۲.
۲. آفاخانی افشار، امیرحسین؛ حسن‌زاده، یوسف؛ بسالت‌پور، علی‌اصغر؛ پوررضا بیلندی، محسن (۱۳۹۵). ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های اقلیمی حوزه آبخیز کشف رود در دوره‌های آبی با استفاده از گزارش پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۳، شماره ۶، صفحات ۲۳۳-۲۱۷.
۳. اسکندری دامنه، حامد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ آذرنیوند، حسین؛ براتی، علی اکبر (۱۳۹۹). بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی متأثر از خشکسالی در مناطق خشک و نیمه‌خشک با استفاده از تکنیک سنجنش از دور (مطالعه موردی: استان هرمزگان). نشریه اکوسیستم بیابان، دوره ۹، شماره ۲۸، صفحات ۲۰-۱۳.
۴. اسکندری دامنه، هادی؛ اسکندری دامنه، حامد؛ خسروی، حسن؛ غلامی، حمید (۱۳۹۸). تحلیل و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI (مطالعه موردی: حوضه غرب تالاب جازموریان). نشریه مرتع. دوره ۱۳، شماره ۳، صفحات ۴۷۵-۴۶۱.
۵. اسکندری دامنه، حامد؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ آذره، علی (۱۳۹۵). بررسی و تحلیل ارتباط زمانی و مکانی بین خشکسالی هواشناسی و هیدرولوژیکی در استان تهران. فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، دوره ۲۴، شماره ۹۶، صفحات ۱۲۰-۱۱۳.
۶. امیری، فاطمه؛ لشکری، حسن؛ قربانیان، جبرئیل؛ مرشدی، جعفر (۱۳۹۹). تأثیر تغییر اقلیم بر تقویم زراعی گندم دیم (رقم چمران) مطالعه موردی: دزفول، فصلنامه علمی - پژوهشی و بین‌المللی انجمن جغرافیایی ایران، دوره ۱۸، شماره ۶۵، صفحات ۱۸-۵.
۷. باقرپور، مهسا؛ سیدیان، سید مرتضی؛ فتح آبادی، ابوالحسن؛ محمدی، امین (۱۳۹۶). بررسی کارایی آزمون من-کندال در شناسایی روند سری‌های دارای خودهمبستگی، نشریه علوم آبخیزداری ایران، شماره ۳۶، صفحات ۲۱-۱۱.
۸. باهک، بتول (۱۳۹۲). بررسی احتمال تغییر اقلیم در استان کرمان با روش من-کندال (مطالعه موردی ایستگاه کرمان). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، دوره ۱۰، شماره ۳۹، صفحات ۷۲-۶۵.
۹. حق‌شناس گنابی، رحمان علی؛ محسنی، بهروز؛ حسینی، علیرضا؛ داداشی، نوربخت (۱۳۹۲). بررسی روند تغییر اقلیم استان تهران با استفاده از شاخص‌های حدی دما و بارش، پنجمین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران‌های طبیعی، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس مدیریت جامع بحران.
۱۰. عباسی، فاطمه؛ بابائیان، ایمان؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ گلی مختاری، لیلا؛ مله‌بوسی، شراره؛ عسگری، شمس‌الله (۱۳۸۹). ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده، با کمک مدل MAGICC-SCENGEN پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۷۲، صفحات ۱۰۹-۹۱.
۱۱. عراقی‌نژاد، شهاب؛ انصاری قوجقار، محمد؛ پورغلام آمیجی، مسعود؛ لیاقت، عبدالمجید؛ بذرافشان، جواد (۱۳۹۷). تأثیر نوسانات اقلیمی بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار در ایران، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، دوره ۷، شماره ۲۱، صفحات ۱۳-۳۲.
۱۲. عساکره، حسین؛ اکبرزاده، یونس (۱۳۹۶). شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۰ با استفاده از- ریزمقیاس نمایی آماری SDSM و خروجی مدل CanESM2. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۱، صفحات ۱۷۴-۱۵۳.

۱۳. کریمی، مصطفی؛ نبی‌زاده، عادل (۱۳۹۷). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبخیز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ با استفاده از مدل Lars-WG. نشریه علمی پژوهشی جغرافیا، دوره ۲۲، شماره ۶۵، صفحات ۲۸۵-۲۶۷.

۱۴. گودرزی، محمدرضا؛ فاتحی فر، آتیه (۱۳۹۸). پهنه‌بندی خطر سیلاب در اثر تغییرات اقلیمی تحت سناریو RCP ۸.۵ با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT در محیط GIS (حوضه آذرشهر چای). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۹ شماره ۵۳، صفحات ۱۱۷-۹۹.

۱۵. منصور، افشین؛ امین‌نژاد، بابک؛ احمدی، حسن (۱۳۹۷). بررسی اثر تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به مخزن سد کارون ۴ براساس گزارشات چهارم و پنجم IPCC. نشریه علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره ۲۲، شماره ۲، صفحات ۳۵۹-۳۴۵.

۱۶. مهرآذر، آیدا؛ مساح‌بوانی، مشعل؛ رحیمی‌خوب، حدیثه (۱۳۹۷). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی دشت هشتگرد با تأکید بر عدم قطعیت مدل‌های AOGCM گزارش ارزیابی پنجم IPCC علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۴۱، شماره ۳، صفحات ۴۵-۵۹.

۱۷. ورشویان، وحید؛ خلیلی، علی؛ قهرمان، نودز؛ حجام، سهراب (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران. مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۱، صفحات ۱۷۹-۱۶۹.

۱۸. Awal, R., Bayabil, H. K., Fares, A., ۲۰۱۶. Analysis of potential future climate and climate Extremes in the Brazos Headwaters basin, Texas. *Water*, 8(12), 1-18.
19. Cheema, S. B., Rasul, G., Ali, G., Kazmi, D. H., 2011 A comparison of minimum temperature trends with model projections. *Pakistan Journal of Meteorology*, 8(15), 39-52.
20. Eskandari Damaneh, H., Borji, M., Khosravi, H. and Mesbahzadeh, T., 2017. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth* 7 (3), 905-915
21. European Environment Agency, European Commission, World Health Organization (Eds.), 2008. *Impacts of Europe's Changing Climate: 2008 Indicator-Based Assessment: Joint EEA-JRC-WHO Report*. Office for Official Publications of the European Communities, Copenhagen: Luxembourg. EEA Report No 4/2008, JRC Reference Report No. JRC47756, doi: 10.2800/48117.
22. Goyal, M., Burn, D. and Ojha, C.S.P., 2012. Evaluation of machine learning tools as a statistical downscaling tool: temperatures projections for multi-stations for Thames River Basin, Canada. *Theoretical and Applied Climatology* 108, 519 -534.
23. IPCC- TGCI. 2007: Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate impact and Adaption Assessment. Version 2. Prepared by Carter, T. R. Hulme, M. and Lal, M. Intergovernmental Panel on Climate change, Task Group on Scenarios for Climate Impact Assessment, 66 PP.
24. IPCC, 2013. Summary for policymakers. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (2013). *Climate Change: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
25. IPCC. 2007. *Climate Change 2007: the physical science basis*. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., Miller H.L. (Eds), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
26. Kazmi, D. H., Rasul, G., Li, J., Cheema, S. B., 2014. Comparative study for ECHAM5 and SDSM in downscaling temperature for a geo-climatically diversified region, Pakistan. *Applied Mathematics*, 5(1), 137.

27. Keggenhoff, I., Elizbarashvili, M., Amiri-Farahani, A., King, L., 20^{۱۴}. Trends in daily temperature and precipitation extreme over Georgia., 1971–2010. *Weather and Climate Extremes*, 4:75–85.
28. Kendall, M. G., 1975. *Rank Correlation Methods*. 4th ed. Charles Griffin: London
29. Khosravi, H., Azareh, A., Dameneh, H. E., Sardoi, E. R., & Dameneh, H. E., 2017. Assessing the effects of the climate change on land cover changes in different time periods. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(4), 93.
30. Khosravi, H., Eskandari Dameneh, H., Eskandari Dameneh, H., Borji, M., Nakhaee Nejadfard, S., 2018. Drought Trend Assessment in Riverheads of Karkheh and Dez Basins based on Streamflow Drought Index (SDI). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 1(2), 45-54.
31. Khosravi, H., Sajedi Hosseini, F., Nasrollahi, M., Gharechae, H. R., 2017. Trend analysis and detection of precipitation fluctuations in arid and semi-arid regions. *Desert*, 22(1), 77-84.
32. Mann, H.B., 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245–259.
33. Maraun, D., Wetterhall, F., Ireson, A.M., Chandler, R.E., Kendon, E.J., Widmann, M. Brienen, S., 2010. Precipitation downscaling under climate change: Recent developments to bridge the gap between dynamical models and the end user. *Reviews of Geophysics* 48(3), 1-34.
34. Nilawar, A. P., Waikar, M. L., 2019. Impacts of climate change on streamflow and sediment concentration under RCP 4.5 and 8.5: A case study in Purna river basin, India. *Science of The Total Environment*, 650, 2685-2696.
35. Noor, M., Ismail, T., 2018. DOWNSCALING OF DAILY AVERAGE RAINFALL OF KOTA BHARU KELANTAN, MALAYSIA. *Malaysian Journal of Civil Engineering* 30(1), 13-22.
36. Pholkern, K., Saraphirom, P., Srisuk, K., 2018. Potential impact of climate change on groundwater resources in the Central Huai Luang Basin, Northeast Thailand. *Science of The Total Environment*, 633, 1518-1535.
37. Rowell, D.P., Senior, C.A., Vellinga, M., and Graham, R.J. 2016. Can climate projection uncertainty be constrained over Africa using metrics of contemporary performance *Climate Change*. 134: 621-633.
38. Tan, M. L., Yusop, Z., Chua, V. P., & Chan, N. W. (2017). Climate change impacts under CMIP5 RCP scenarios on water resources of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Atmospheric Research*, 189, 1-10.
۳۹. Weli, V. E., Nwagbara, M. O., Ozabor, F., ۲۰۱۷. The Minimum and Maximum Temperature Forecast Using Statistical Downscaling Techniques for Port-Harcourt Metropolis, Nigeria. *Atmospheric and Climate Sciences*, 7(04), 424.
40. Wilby, R. L., Dawson, C. W., 2013. The statistical downscaling model: insights from one decade of application. *International Journal of Climatology*. (7)33, 1719-1707
41. Wilby, R. L., Dawson, C. W., Barrow, E. M., 2002. SDSM—a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*. 17 (2). 157-145.
42. Zachariadis, T., Hadjinicolaou, P., 2014. The effect of climate change on electricity needs—a case study from Mediterranean Europe. *Energy*, 76, 899-910.