

## ارزیابی عملکرد مدل های BNU-ESM و MIROC-ESM در گرمایش جهانی با نگرشی بر فراسنج های اقلیمی و خشکسالی های آینده (مطالعه موردی: حوضه آبریز گرگان رود، استان گلستان)

علیرضا دنیائی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۵

### چکیده

در پژوهش حاضر اثر تغییر اقلیم بر فراسنج های اقلیمی نظیر دما، بارش و خشکسالی های آینده در حوضه آبریز گرگان رود با استفاده از خروجی دو مدل گردش عمومی MIROC-ESM و BNU-ESM تحت سه سناریو RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 برای دو دوره آینده نزدیک ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ و دور ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ مورد ارزیابی قرار گرفت، به گونه ای که خروجی مدل MIROC-ESM توسط مدل SDSM و خروجی مدل BNU-ESM توسط روش عامل تغییر ریزمقیاس گردید و از شاخص های آماری  $R^2$ ، RMSE و NSE به منظور ارزیابی عملکرد دو روش استفاده شد. جهت ارزیابی خشکسالی نیز، از شاخص بارش استاندارد (SPI) طی دوره گذشته (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰) و دو دوره آینده در مقیاس زمانی سالانه استفاده گردید. نتایج نشان داد که مدل SDSM برای هر دو فراسنج دما و بارش، دارای عملکرد بالاتری نسبت به روش عامل تغییر می باشد. نتایج تغییرات دما و بارش در هر دو دوره آینده نزدیک و دور نشان از تاثیر گرمایش جهانی بر اقلیم آینده حوضه آبریز گرگان رود داشته؛ به گونه ای که در تمامی سناریوها در هر دو مدل، دمای متوسط سالانه افزایش و بارش متوسط سالانه کاهش یافته پیش بینی می شود. مقادیر SPI سالانه برای هر دو مدل MIROC-ESM و BNU-ESM در هر دو دوره آینده نزدیک و دور تحت هر سه سناریو نسبت به دوره پایه کاهش یافته و خشکسالی هواشناسی افزایش می یابد. نتایج حاصل از مدل های گردش عمومی جو نشان داد که مدل MIROC-ESM کمترین مقدار بارش، بیشترین مقدار دما و بیشترین تعداد سال با خشکسالی شدید را در مقایسه با مدل BNU-ESM برآورد می نماید.

**کلیدواژه ها:** سناریوهای RCP، خشکسالی، عامل تغییر، SDSM، حوضه آبریز گرگان رود

<sup>۱</sup> دکتری مهندسی عمران، کارشناس حفاظت و بهره برداری، شرکت آب منطقه ای گلستان، گرگان، ایران، ایمیل نویسنده مسئول  
ar.donya@gmail.com:

## ۱- مقدمه

استفاده از مدل‌های پیش‌بینی در بسیاری از علوم و فن‌آوری‌های نوین در چند دهه اخیر رشد چشمگیری یافته است (دنیائی، ۲۰۲۱b: ۵۳). از سوی دیگر افزایش روزافزون جمعیت و توسعه صنایع در طی یک سده اخیر باعث تغییرات محسوسی در اکوسیستم طبیعی جهان به‌ویژه افزایش گازهای گلخانه‌ای شده که متعاقب آن گرمایش جهانی و نیز کاهش مقادیر بارش را در اقصی نقاط جهان رقم زده است (دنیائی، ۲۰۲۱a: ۲). این تغییر در فراسنج‌های اقلیمی به‌ویژه دما و بارش تحت عنوان تغییر اقلیم مطرح بوده که منجر به ایجاد تأثیرات منفی در اکوسیستم طبیعی جهان شده است (دنیائی، ۲۰۲۲: ۴۴).

پیش‌بینی‌های انجام شده توسط دانشمندان مختلف نشان داده است که روند افزایش دما و کاهش بارش در دوره‌های آینده نیز ادامه خواهد یافت؛ به‌همین دلیل، نیاز به مدل‌های آماری برای پیش‌بینی فراسنج‌های اقلیمی با دقت مناسب ضرورت دارد. جهت نیل به این هدف مدل‌های گردش عمومی جو طراحی شده‌اند. این مدل‌ها ویژگی‌های فیزیکی و حرکات اتمسفری را تحلیل کرده و متعاقباً فراسنج‌های اقلیمی را در شبکه‌های خاصی شبیه‌سازی می‌کنند (دنیائی و صراف، ۲۰۲۱a: ۱۸۴). از آنجاییکه این مدل‌ها تنها توانایی شبیه‌سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو در مقیاس وسیع را دارا هستند. جهت مطالعه تغییرات اقلیمی یک منطقه کوچک، نیاز است که نتایج این مدل‌ها در مقیاس ایستگاهی ریزمقیاس‌نمایی گردد. برای ریزمقیاس‌نمایی

فراسنج‌های اقلیمی، روش‌های مختلفی وجود دارد که از بین آن‌ها، روش‌های آماری، بیش از سایر روش‌ها مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (دنیائی و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۳۹). فرآیندهای حدی نظیر سیلاب و خشکسالی بیش از سایر پدیده‌ها متأثر از تغییرات اقلیمی است. افزایش دما و کاهش بارش، به تنهایی یا توأم می‌توانند پدیده‌های حدی؛ نظیر خشکسالی را به‌رمغان آورند (دوبروسکی<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۳). با عنایت به این مطلب که کشور ایران به‌لحاظ موقعیت جغرافیایی در کمربند خشک و بیابانی جهان قرار گرفته و دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است؛ در بیشتر سال‌ها دچار خشکسالی شدید می‌باشد. پدیده خشکسالی اثرات زیانباری؛ نظیر کاهش سطح تراز آب‌زیرزمینی و فرسایش خاک را به‌دنبال خواهد داشت. بنابراین جهت کاهش اثرات مخرب آن، ارزیابی خشکسالی در دوره‌های حال و آینده امری ضروری است (معافی مدنی و همکاران، ۲۰۱۵: ۴۹).

از بین شاخص‌های ارائه شده برای پایش خشکسالی، شاخص بارش استاندارد<sup>۲</sup> (SPI) یکی از شاخص‌های مهمی است که در تحلیل خشکسالی‌ها قابلیت بالایی از خود نشان داده به‌گونه‌ایکه این شاخص به‌دلیل سادگی در محاسبات و به‌کارگیری داده‌های بارندگی، قابلیت محاسبه برای هر مقیاس زمانی دلخواه داشته و مناسب‌ترین شاخص برای تحلیل خشکسالی می‌باشد (آنجلیدیس<sup>۳</sup>، ۲۰۱۲: ۵۶).

<sup>1</sup> Dubrovsky

<sup>2</sup> Standardized Precipitation Index

<sup>3</sup> Angelidis

که بارش در دوره آینده به میزان نه میلی متر کاهش و دمای حداقل ۱/۰۵ و دمای حداکثر ۰/۸۷ درجه سانتی گراد افزایش خواهد یافت.

لی و همکاران (۲۰۱۷) ضمن بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر شاخص خشکسالی را توسط سری های زمانی شاخص بارش استاندارد شده<sup>۴</sup> و شاخص بارش-تبخیر و تعرق استاندارد شده<sup>۵</sup> در دوره آماری ۱۹۸۱ تا ۲۱۰۰ با استفاده از مدل HadGEM2<sup>۶</sup> در دشت وانگا (کره شمالی) دریافتند که احتمالاً خشکسالی های شدیدتری در منطقه تحت شرایط تغییر اقلیم به وقوع خواهد پیوست.

پورکریمی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از دو شاخص استاندارد شده رواناب<sup>۱</sup> و شاخص رطوبت خاک استاندارد شده<sup>۷</sup> و مدل SWAT<sup>۸</sup> خصوصیات خشکسالی حوضه زربینه رود را تحت تأثیر تغییر اقلیم مطالعه نمودند. ایشان ضمن معرفی نتایج ریزمقیاس نمایی مدل گردش عمومی جو BNU-ESM<sup>۹</sup> تحت دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 به مدل SWAT، شاخص های خشکسالی را برای دوره آینده (۲۰۱۷ تا ۲۰۴۰) شبیه سازی و مقادیر آن با دوره پایه مقایسه نمودند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که میانگین بیشترین وقوع و تداوم خشکسالی کل حوضه -در آینده نسبت به دوره پایه -مربوط به شاخص

در سال های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه اثر تغییر اقلیم بر فراسنج های اقلیمی و خشکسالی صورت گرفته که از آن جمله می توان به پژوهش های زیر اشاره کرد:

لوکاس<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۸) اثرات تغییر اقلیم را بر روی شدت خشکسالی در ناحیه تسالی کشور یونان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده ارزیابی کردند. آن ها خروجی های مدل انتشار جهانی CGCM2<sup>۲</sup> را برای دو سناریو A2 و B2 به کار بردند. نتایج پژوهش ایشان نشان دهنده افزایش شدت خشکسالی در کل منطقه مورد مطالعه بوده؛ به گونه ای که این افزایش طبق سناریو A2 شدت بیشتری از خود نشان داده است.

عباسی و همکاران (۲۰۱۰) تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی را در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی با استفاده از مدل LARS-WG<sup>۳</sup> به پیش بینی نمودند، نتایج این پژوهش نه تنها نشان دهنده دقت بالای مدل LARS-WG در پیش بینی فراسنج های اقلیمی بود، بلکه حاکی از افزایش چهار درصدی بارش و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه در مقیاس سانتی گراد بود.

جهانبخش اصل و همکاران (۲۰۱۶) به منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی دما و بارش حوضه رودخانه شهرچای ارومیه، خروجی شش مدل گردش عمومی جورا تحت سه سناریوی A1B، A2 و B1 با استفاده از مدل LARS-WG<sup>۳</sup> ریزمقیاس نمایی کردند. نتایج نشان داد

<sup>4</sup> Standardized Runoff Index (SRI)

<sup>5</sup> Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index

<sup>6</sup> Hadley Centre Global Environmental Model, version 2-Earth System

<sup>7</sup> Standardized soil moisture Index (SSWI)

<sup>8</sup> Soil & Water Assessment Tool

<sup>9</sup> Beijing Normal University Earth System Model

<sup>1</sup> Loukas

<sup>2</sup> Coupled Global Climate Model 2

<sup>3</sup> Long Ashton research station weather generator

استاندارد شده رواناب بوده که به ترتیب با ۲۳٪ افزایش تحت سناریو انتشار RCP2.6 و ۱۹/۷٪ افزایش تحت سناریو انتشار RCP8.5 نمایان گشته است.

آذره و همکاران (۲۰۲۱) ضمن استفاده از خروجی دو مدل گردش کلی HadGEM2 و BNU-ESM تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای دو دوره آتی جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما، بارش و خشکسالی‌های آینده در شهرستان خاتم دریافتند که تغییرات دما و بارش در هر دو دوره آتی حاکی از آن است که این شهرستان متأثر از گرمایش جهانی هست؛ به گونه‌ای که در تمامی سناریوها در هر دو مدل، دمای متوسط سالانه افزایش و بارش متوسط سالانه کاهش می‌یابد.

دنیائی (۲۰۲۱) ضمن ریزمقیاس سازی مدل اقلیمی CanESM2<sup>۱</sup> با کمک نرم‌افزار SDSM4.2<sup>۲</sup> تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 و همچنین ارائه یک سناریوی جدیدی به نام سناریوی میانگین-با میانگین‌گیری نتایج این سه سناریو- برای دستیابی به برآورد واقعی‌تر، نتایج حاصله را با سه سناریو دیگر در سه بازه زمانی -از ۲۰۱۱ تا ۲۰۹۹- مورد مقایسه قرار داد. سپس جهت شبیه‌سازی رواناب ورودی به سدهای و شمشگیر و گلستان از مدل عصبی فازی درجه دوم استفاده کرد و در نهایت از الگوریتم جستجوی فاخته برای بهینه‌سازی عملکرد چندمنظوره سیستم‌های مخزنی با هدف تامین نیازهای

آبی پایین دست بهره برد. نتایج این تحقیق نشان داد که افزایش میانگین دمای ماهانه برای حداقل و حداکثر دما از ۰/۶ به ۳/۲ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده و کاهش میانگین بارندگی ماهانه از مقادیر حداقل ۱۸/۴٪ تا حداکثر ۴۳/۱٪ در تمام سناریوها در طول سه دوره پیش‌بینی دوره می‌تواند محتمل باشد (دنیائی ۲۰۲۱a: ۱).

با عنایت به منابع ذکر شده، تاکنون هیچ پژوهشی در زمینه استفاده توامان از دو مدل گردش عمومی کلی BNU-ESM و MIROC-ESM<sup>۳</sup> برای بررسی اثر تغییر اقلیم فراسنج‌های اقلیمی و خشکسالی انجام نشده است و هیچ یک از پژوهش‌های پیشین به مقایسه دو مدل ریزمقیاس‌نمایی عامل تغییر<sup>۴</sup> و SDSM پرداخته‌اند. از آنجاییکه در پژوهش‌های تغییر اقلیم در نظر نگرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مراحل مختلف ارزیابی موجب کاهش قطعیت و عدم اطمینان به خروجی‌های نهایی سیستم خواهد شد؛ بنابراین به کارگیری هم‌زمان از دو مدل گردش عمومی جو و دو روش ریزمقیاس‌نمایی -به خودی خود- سبب کاهش عدم قطعیت خروجی‌ها می‌شود (آذره و همکاران، ۲۰۲۱: ۹۷). از این رو هدف از این پژوهش، بررسی اثر تغییر اقلیم بر فراسنج‌های دما، بارش و خشکسالی در دو دوره آینده نزدیک ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ و آینده دور ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ در حوضه آبریز گرگان‌رود با استفاده از دو مدل گردش عمومی جو BNU-ESM و

3 Model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments  
4 Change Factor (CF)

1 Canadian Earth System Model  
2 Statistical Downscaling Model

می‌شود(دنیائی و صراف، ۲۰۲۱a: ۱۸۵).  
شکل شماره ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه  
مورد مطالعه را مشخص نموده است.

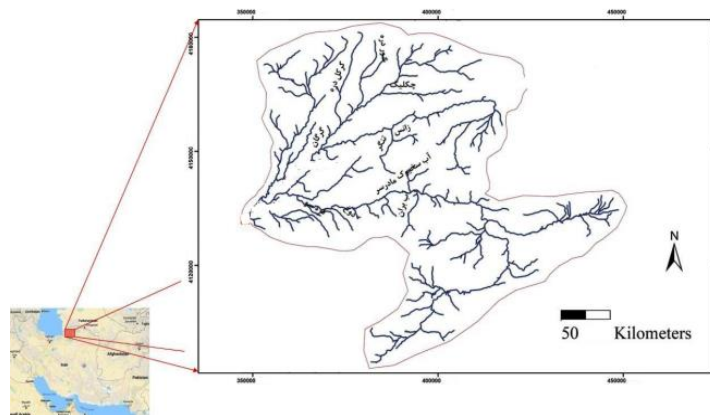
از جمله شاخه‌های مهم گرگان‌رود می‌توان  
به رودخانه‌های زاو، دوغ، اوغان، قلی‌تپه،  
چهل‌چای، نرماب، خرمالو، قره‌چای، سیاه‌جوی،  
سرمه‌رود، زرینگل، کبودوال، محمدآباد و  
جعفرآباد اشاره کرد. گرگان‌رود، رودخانه‌ای  
دائمی بوده و در حال حاضر، سه سد مخزنی به  
ترتیب از بالادست به نام‌های بوستان، گلستان  
و وشمگیر بر روی گرگان‌رود ساخته شده‌اند.  
میانگین سالانه دما در این حوضه از حدود ۱۷  
درجه سانتی‌گراد در نواحی کم ارتفاع تا ۷/۵  
درجه سانتی‌گراد در ارتفاعات جنوبی متغیر  
می‌باشد (دنیائی و صراف ۲۰۲۱a: ۱۸۶). با  
عنایت به پتانسیل خاک‌های مرغوب، این  
منطقه، سهم قابل ملاحظه‌ای در تولیدات  
کشاورزی در کشور دارد. آورد رودخانه  
گرگان‌رود بستگی تام به بارش منطقه داشته  
که غالباً در فصول زمستان و بهار به وقوع  
می‌پیوندد. متوسط بارندگی این حوضه بالغ بر  
۲۲۳ میلی‌متر در سال بوده به‌طوری‌که این  
مهم خود بر تنوع گونه‌های گیاهی و جانوری  
مؤثر بوده است(دنیائی و صراف ۲۰۲۱a: ۱۸۶).

MIROC-ESM و دو مدل ریزمقیاس‌نمایی  
عامل‌تغییر و SDSM تحت سناریوهای انتشار  
RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد. در  
این راستا، برای ارزیابی خشکسالی در دوره  
پایه (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰) و دو دوره آینده،  
شاخص بارش استاندارد (SPI) در مقیاس  
سالانه مورد استفاده قرار گرفت.

## ۲- مواد و روش

### ۲-۱- خصوصیات منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز گرگان‌رود در قسمت جنوب  
شرقی دریای خزر قرار داشته و در مقیاس  
کلان بخشی از حوضه آبریز دریای خزر تلقی  
می‌گردد. حوضه آبریز گرگان‌رود در محدوده  
طول جغرافیایی  $54^{\circ}00'$  تا  $56^{\circ}29'$  شرقی و  
عرض جغرافیایی  $36^{\circ}36'$  تا  $37^{\circ}47'$  شمالی  
واقع شده و از شمال و شرق به حوضه اترک، از  
جنوب به حوضه کویر نمک و از جنوب غربی  
به حوضه نکارود متصل است. مساحت حوضه  
۱۲۹۳۵ کیلومتر مربع بوده که بیش از نیمی از  
آن را دشت و کوهپایه تشکیل می‌دهد  
گرگان‌رود یکی از مهم‌ترین رودخانه حوضه  
آبریز دریای خزر بوده از منتهالیه غرب  
کوه‌های خراسان سرچشمه گرفته و وارد  
منطقه کلاله شده و نهایتاً پس از عبور از  
ترکمن صحرا و شمال گرگان وارد خلیج گرگان



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

Figure (1): The location of the study area in Golestan province, Iran

آن هاست که به‌لحاظ مکانی و زمانی با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. بنابراین از روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای رفع این محدودیت استفاده می‌شود (کمال و مساح بوانی، ۲۰۱۲). مطالعات ارزیابی تغییر اقلیم در مناطق مختلف نشان می‌دهد که کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری متفاوت و نتایج ارزیابی نیز گوناگون است (سلاجقه و همکاران، ۲۰۱۷)؛ از بین جدیدترین مدل‌های مستخرج از گزارش پنجم، مدل MIROC-ESM جهت بررسی تغییرات اقلیم آتی پژوهش حاضر، انتخاب گردید؛ زیرا این مدل بر اساس معیارهای ارزیابی بیش‌ترین انطباق را با داده‌های مشاهداتی حوضه از خود نشان داد که نتایج مطالعات افشار و همکاران (۲۰۱۷) این نتایج را پشتیبانی و تأیید می‌کند. بنابراین برای رسیدن به دورنمایی از اقلیم منطقه مورد مطالعه با کمترین عدم قطعیت، استفاده از فقط یک مدل ریزمقیاس‌نمایی منطقی به نظر نمی‌رسد. لذا، در این پژوهش، خروجی‌های مدل گردش عمومی جو BNU-ESM تحت سناریوهای RCP8.5، RCP4.5، RCP2.6 با

در این پژوهش، داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک گنبدکاووس برای بررسی پدیده تغییر اقلیم طی دوره زمانی (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۲) از سازمان هواشناسی استان گلستان تهیه شد. پس از جمع‌آوری اطلاعات، جهت بررسی تغییرات اقلیمی در دوره آینده از خروجی دو مدل گردش عمومی جو BNU-ESM و MIROC-ESM استفاده شد. مراحل انجام پژوهش بدین شرح است:

## ۲-۲- بررسی وضعیت تغییر اقلیم

ارزیابی تغییر اقلیم برخلاف سناریوهای انتشار استفاده‌شده در مدل‌های گزارش ارزیابی چهارم هیأت بین‌دول تغییر اقلیم (AR4)، در گزارش ارزیابی پنجم (AR5) از نماینده خطوط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای<sup>۱</sup> (RCP) استفاده می‌گردد، سناریوهای جدید انتشار بر اساس سطح واداشت تابشی نور خورشید تا سال ۲۱۰۰ میلادی بنا نهاده شده‌اند یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو تفکیک مکانی کم

<sup>۱</sup> Representative Concentration Pathway; RCP

متوسط درازمدت هر ماه محاسبه می شود (دیاز-نیتو و ویلیبی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۵):

$$\Delta T_i = \bar{T}_{AOGCM Fut_i} - \bar{T}_{AOGCM Base_i} \quad (2)$$

$$\Delta P_i = \bar{P}_{AOGCM Fut_i} / \bar{P}_{AOGCM Base_i} \quad (3)$$

$$T = T_{abs} + \Delta T \quad (4)$$

$$P = P_{abs} \times \Delta P \quad (5)$$

$\Delta T_i$  سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما برای متوسط درازمدت ۳۵ ساله (۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵) برای هر ماه و  $\bar{T}_{AOGCM Fut_i}$  متوسط دمای ۳۰ ساله شبیه سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره آینده برای هر ماه و  $\bar{T}_{AOGCM Base_i}$  متوسط دمای شبیه سازی شده توسط هر مدل AOGCM در دوره مشاهداتی برای هر ماه است. به علاوه T سری زمانی حاصل از سناریوی اقلیمی دما برای دوره آینده،  $T_{obs}$  سری زمانی دمای مشاهداتی در دوره پایه (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰) و  $\Delta T$  سناریوی تغییر اقلیم کوچک مقیاس شده است. برای بارندگی نیز موارد یاد شده در رابطه (۵) برقرار است.

#### ۲-۴-۲-۴ مدل SDSM

مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM)، برای شبیه سازی داده های اقلیمی در یک ایستگاه خاص در شرایط حال و در آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به کار می رود که داده های آن به صورت سری های زمانی روزانه برای یک سری از متغیرهای اقلیمی نظیر بارندگی، دمای حداقل و حداکثر می باشد (دنیائی<sup>۲</sup> ۲۰۲۱a). تولید داده ها در این مدل در سه مرحله انجام

استفاده از روش عامل تغییر و خروجی های مدل گردش عمومی جو MIROC-ESM تحت سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8 توسط مدل SDSM ریزمقیاس شدند.

#### ۲-۳-۲-۳ روش عامل تغییر

روش عامل تغییر<sup>۱</sup> (CF) به طور گسترده ای در پژوهش های مربوط به تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفته است. پیش از انجام عملیات ریزمقیاس نمایی به روش عامل تغییر برای دوره های آینده ضروری است که از توانایی مدل برای شبیه سازی فراسنج های آینده اطمینان حاصل کرد؛ بدین ترتیب ابتدا ریزمقیاس نمایی روی داده های تاریخی مدل به صورت زیر انجام می شود: برای این کار داده های تاریخی می بایست به دو دوره پایه-از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ و دوره ارزیابی-از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ تقسیم شوند. جهت اصلاح و ریزمقیاس نمایی مدل در دوره ارزیابی از رابطه (۱) استفاده می شود.

$$X_{Cori} = X_{oi} * \frac{\mu_p}{\mu_b} \quad (1)$$

که در این رابطه  $X_{Cori}$  مبین داده های ریزمقیاس شده در دوره ارزیابی،  $X_{oi}$  مبین داده های شاهد در دوره پایه،  $\mu$  بیانگر میانگین داده ها و زیر نویس های b، p و o به ترتیب نشان دهنده داده های شبیه سازی شده در دوره پایه، دوره ارزیابی و داده های شاهد است. جهت محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر اختلاف دما از روابط ۲ و ۴ و مقادیر نسبت بارندگی از روابط ۳ و ۵ برای

<sup>2</sup>. Diaz-Nieto and Wilby

Change Factor<sup>۱</sup>

در این روابط،  $Cov$  به معنای کوواریانس،  $\delta$  نماد انحراف معیارهای مقادیر شبیه‌سازی شده (S)، مقادیر مشاهده‌شده (O)،  $n$  تعداد گام‌های زمانی در طول دوره شبیه‌سازی،  $e_i$  خطای پیش‌بینی است که از تفاوت مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی به دست می‌آید.  $S_i$ ،  $O_i$  به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گام زمانی  $i$  است و  $\bar{O}$  متوسط مقادیر مشاهداتی می‌باشد. طبیعی است که هرچه مقادیر همبستگی به یک و ضریب خطای RMSE به صفر نزدیکتر باشند مدل از دقت بیشتری برخوردار است. مقدار NSE از یک مقدار منفی تا +۱ در تغییر است و زمانی که +۱ باشد نمایانگر انطباق مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده می‌باشد (دنیائی و همکاران ۲۰۲۰a: ۹۱).

RCP4.5 RCP2.6 SDSM  
RCP8.5  
۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ و  
۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ انجام شد

**۲-۶- شاخص بارش استاندارد شده**  
شاخص بارش استاندارد شده (SPI) شاخصی است که بر اساس احتمال بارش در مقیاس‌های زمانی متفاوت استوار است. این شاخص رویداد خشکسالی را قبل از وقوع، پیش‌بینی کرده و به تخمین شدت خشکسالی کمک می‌کند.

مک‌کی ۱ و همکاران (۱۹۹۵) شاخص بارش استاندارد شده را در مقیاس‌های زمانی سه،

می‌شود که عبارت‌انداز: واسنجی، صحت‌سنجی و ایجاد داده‌های هواشناسی.

مرحله واسنجی، شامل تمام فراسنج‌های لازم برای تولید داده‌های مصنوعی است به گونه‌ای که مدل SDSM در این مرحله برای مدل کردن دمای حداقل و حداکثر از خودهمبستگی میانگین داده‌های دیده‌بانی شده استفاده می‌نماید. در مرحله بعد مدل SDSM، داده‌های به دست آمده را ارزیابی می‌نماید. بعد از واسنجی و ارزیابی، با توجه به سناریوهای تغییر اقلیم، مدل اقدام به تولید داده‌های آب و هوای مصنوعی منطقه می‌نماید (دنیائی ۲۰۲۱a).

در این پژوهش، دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ برای واسنجی و دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۲۰ برای ارزیابی مدل در نظر گرفته شد و نتایج به دست آمده از مدل با مقادیر مشاهداتی مقایسه و نحوه عملکرد مدل ارزیابی شد.

## ۲-۵- ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس نمایی

در این پژوهش به منظور ارزیابی قابلیت هر دو مدل از معیارهای آماری ضریب همبستگی (R)، مجذور مربعات خطا (RMSE) و ضریب نش ساتکلیف (NSE) استفاده شد (روابط ۶ تا ۸) (دنیائی و همکاران ۲۰۲۰a: ۹۱). در ادامه، روابط موجود برای معیارهای مذکور آورده شده است.

$$R = Cov(O, S) / \delta_o \delta_s \quad (۶)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i)^2 / n} \quad (۷)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (۸)$$



شش، ۱۲، ۲۴ و ۴۸ ماهه محاسبه کردند. محاسبه SPI برای هر مکان بر اساس ثبت بارش های طولانی مدت در دوره های زمانی مورد نظر پایه گذاری شده است. این شاخص با استفاده از رابطه (۹) قابل محاسبه است.

$$SPI = (P_i - \bar{P}) / S_d \quad (9)$$

که در آن،  $P_i$  مقدار بارش در دوره مورد نظر،  $P$  میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر و  $S_d$  انحراف معیار مقدار بارش است. برای تعیین درجه خشکسالی در سال های مختلف لازم است که آستانه هایی برای SPI تعریف شوند (جدول ۲).

در این پژوهش، جهت محاسبه این شاخص در دوره آینده، از داده های بارش شبیه سازی شده در دو دوره آینده بر اساس دو مدل گردش عمومی جو استفاده شد.

جدول (۲): طبقه بندی شاخص خشکسالی SPI (مک کی و همکاران، ۱۹۹۵)  
Table (2): SPI Drought Index Classification (McKee and et al., 1995)

SPI	طبقه بندی Classification
۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
۱/۴۹ تا ۱/۹۹	مرطوب
۰ تا ۱/۴۹	رطوبت متوسط
۰ تا ۰/۹۹	معتدل
۰ تا ۰/۹۹	خشکسالی خفیف
-۱/۴۹ تا -۱/۰	خشکسالی متوسط
-۱/۴۹ تا -۱/۹۹	خشکسالی شدید
کمتر از -۲/۰	بسیار خشک

از آنجا که یکی از اهداف پژوهش حاضر تجزیه و تحلیل روند تغییرات بارش و دما در مدل گزارش ارزیابی پنجم و اثرات آن بر رواناب می باشد، لذا از آزمون غیر پارامتری من-کندال استفاده گردید. آزمون فوق یک روش آماری است که به طور گسترده ای برای تشخیص روند تغییرات در متغیرهای هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده قرار می گیرد. از نقاط قوت این روش می توان به مناسب بودن کاربرد

آن برای سری های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی کنند اشاره نمود (دنیائی و صراف، ۲۰۲۱a: ۱۹۰). اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری های زمانی مشاهده می گردند نیز از دیگر مزایای استفاده از این روش است (دنیائی و صراف، ۲۰۲۱a: ۱۹۰). فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد

کاهش‌ی برای آزمون آماری  $Z_c$  نشان دهنده یک روند رو به بالا یا رو به پایین می‌باشد و اگر  $Z_c$  از آماره توزیع نرمال استاندارد بیشتر باشد روند تغییرات قابل ملاحظه و معنی‌دار می‌باشد (دنیائی و صراف، ۲۰۲۱a: ۱۹۰).

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- بررسی روند فراسنج‌های اقلیمی

جدول (۳) نتایج حاصل از آزمون من-کندال در ایستگاه سینوپتیک گنبد را در دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ میلادی برای فراسنج‌های دما و بارش نشان می‌دهد. از آنجاییکه مقادیر  $p$ -value هم برای فراسنج دما و هم فراسنج بارش کمتر از سطح معنی‌داری ۰/۰۵ است، بنابراین، فرض صفر رد شده و فرض یک پذیرفته می‌شود؛ از این رو روند بارش منفی (کاهش‌ی) و روند دما مثبت (افزایش‌ی) است که در سطح اعتماد ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد. شکل (۲) روند تغییرات دما و بارش را در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد.

فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد. آزمون من-کندال به‌عنوان یک آزمون غیر پارامتری برای تشخیص روند توسط Mann (1945) و به‌عنوان یک آزمون توزیع آماری برای تست روند غیر خطی و نقطه عطف توسط Kendall (1975) فرموله گردید. در این آزمون آماره  $S$  به صورت زیر تعریف می‌گردد (دنیائی و صراف، ۲۰۲۱a: ۱۹۰):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (10)$$

$$\text{sgn}(X_j - X_i) = \begin{cases} +1, & (X_j - X_i) > 0 \\ 0, & (X_j - X_i) = 0 \\ -1, & (X_j - X_i) < 0 \end{cases} \quad (11)$$

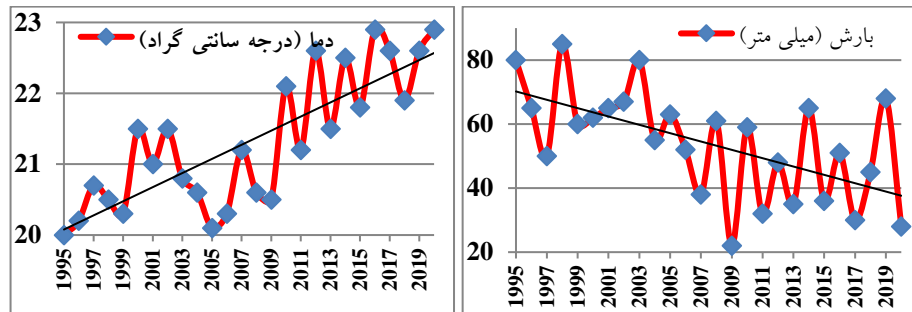
$$Z_c = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad (12)$$

در روابط فوق  $X_i$  و  $X_j$  داده‌های مربوط به نقطه نام و زام می‌باشند. مقادیر افزایش‌ی یا

جدول (۳): نتایج حاصل از آزمون من-کندال در ایستگاه سینوپتیک گنبد (دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰)

Table (3): The results of Mann-Kendall test in Gonbad synoptic station (1961-2020)

alpha	p-value	Kendall's $Z_c$	فراسنج Parameter
۰/۰۵	۰/۰۴۲	۰/۰۳۸	دما Temperature
۰/۰۵	۰/۰۲۱	-۰/۰۱۱	بارش Precipitation



شکل (۲): روند تغییرات فراسنج های اقلیمی در اواخر دوره پایه

Figure (2): The trend of climatic parameters changes during baseline period

این دو مدل از قابلیت بالایی در شبیه سازی تغییرات اقلیمی حوضه آبریز گرگان رود برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۶۰ تا ۲۰۹۰ برخوردارند (جدول ۴). همچنین بر طبق نتایج ضرایب خطا (جدول ۴) و اشکال (۳) و (۴)، مدل SDSM برای هر دو فراسنج دما و بارش، از عملکرد بهتری نسبت به روش عامل تغییر برخوردار است.

### ۲-۳- ارزیابی عملکرد مدل ها

جدول (۴) ضرایب خطا حاصل از فراسنج های اقلیمی مشاهده تانی و مدل سازی شده توسط مدل SDSM و عامل تغییر را نشان می دهد. نتایج حاصل از عملکرد مدل ریزمقیاس نمای SDSM و عامل تغییر، به منظور ارزیابی قابلیت آن ها در ریزمقیاس نمای دو فراسنج بارش و دمای متوسط طی دوره پایه نشان می دهد که

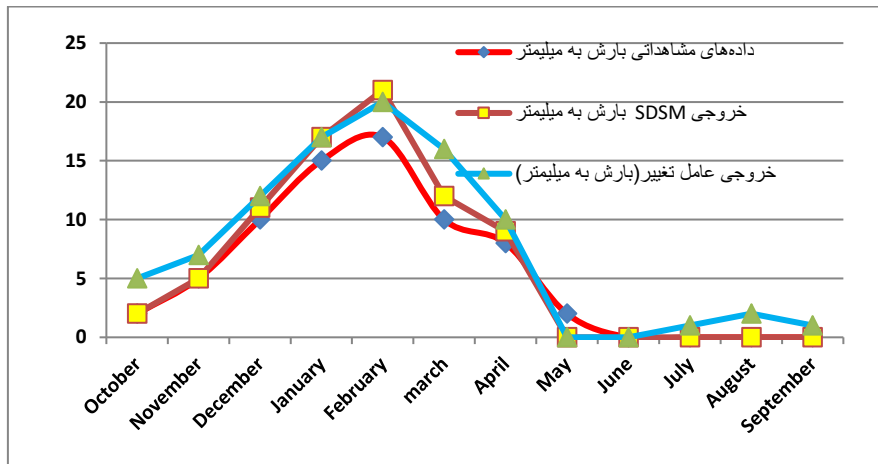
جدول (۴): ارزیابی عملکرد مدل ها در پیش بینی بارش و دمای روزانه در ایستگاه سینوپتیک گنبد (۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰)

Table (4): Performance evaluation of models in predicting daily precipitation and temperature (1961-2020)

NSE	RMSE	R	فراسنج Parameter	مدل گردش عمومی جو GCM Model	مدل ریزمقیاس نمای Downscaling Model
۰/۸۵	۴/۱۲	۰/۸۲	بارش Prec.	BNU-ESM	عامل تغییر Change Factor
۰/۹۱	۱/۳۴	۰/۸۶	دما Temp.		
۰/۹۴	۰/۸۶	۰/۷۸	بارش Prec.	MIROC-ESM	SDSM
۰/۹۹	۰/۱۸	۰/۹۳	دما Temp.		

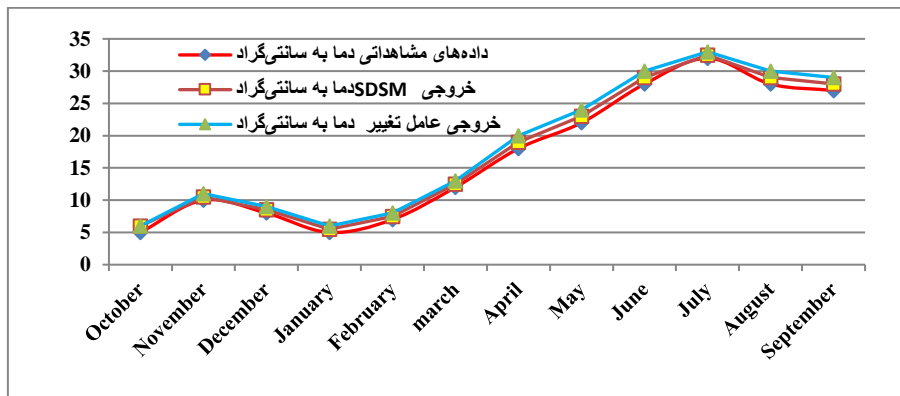
۹۸..... ارزیابی عملکرد مدل‌های BNU-ESM و MIROC-ESM در گرمایش جهانی با نگرشی بر فراسنج‌های اقلیمی.....

۳-۳- نتایج تغییرات فراسنج‌های بارش، دما در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه نتایج تغییرات دما (°C) و درصد تغییرات بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه برای هر دو مدل ریزمقیاس‌نمایی عامل تغییر و SDSM، تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه گنبد در اشکال (۵) و (۶) ارائه شده است.



شکل (۳): مقایسه بارش متوسط ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل SDSM و روش عامل تغییر در مرحله صحت‌سنجی

Figure (3): Comparison between the observed and simulated monthly average precipitation by SDSM model and CF method in the validation step



شکل (۴): مقایسه دمای متوسط ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده توسط مدل SDSM و روش عامل تغییر در

فصلنامه اکوسیستم های طبیعی ایران، سال سیزدهم، شماره یک، پیاپی ۴۷، بهار ۱۴۰۱، صفحات ۹۳-۱۱۲..... ۱۰۵

ESM حاکی از آن است که متوسط دمای سالانه، به ترتیب به میزان ۱/۱۲، ۱/۲۸ و ۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای RCP2.6،

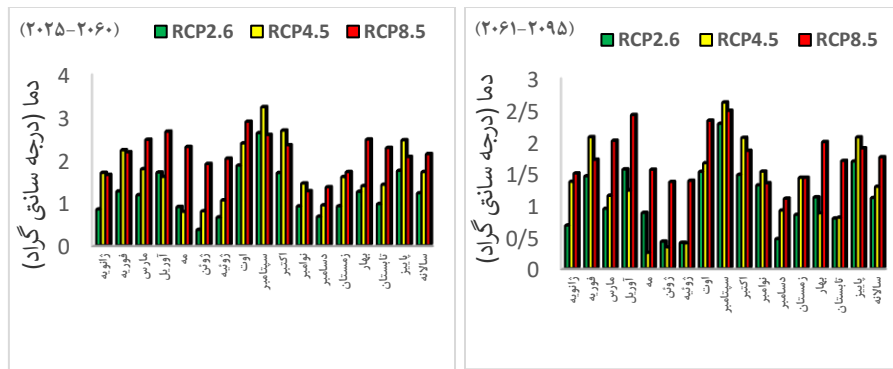
نتایج بررسی روند تغییرات دما و بارش سالانه در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ بر اساس روش ریزمقیاس‌نمایی عامل تغییر و مدل BNU-

۴۳//۱ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 نسبت به دوره پایه، کاهش می‌یابد. اشکال (۵) و (۶) مقادیر میانگین اختلاف دما (°C) و درصد تغییرات بارش در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه را تحت سناریوهای RCP در دو مدل گردش عمومی BNU-ESM و MIROC-ESM نشان می‌دهد. مقایسه مقادیر متوسط اختلاف دمای ماهانه با دوره پایه برای هر دو مدل نشان می‌دهد که دما در دوره آینده در اکثر ماه‌ها و تمامی سناریوها بیشتر از دوره پایه خواهد بود. بر طبق نتایج بیشترین افزایش دما تحت سناریو RCP8.5 رخ داده است و افزایش دما در دوره

۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ بیشتر از دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ می‌باشد. بر اساس مقایسه مقادیر بارش ماهانه با دوره پایه برای هر دو مدل مشخص شد که بارش در دوره آینده در اکثر ماه‌ها و تمامی سناریوها کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش بارش طی سناریو RCP8.5 در دوره ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ اتفاق خواهد افتاد. مطابق با تغییرات دمایی و نسبت تغییرات بارش برای هر دو مدل در دو دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵، می‌توان دریافت که در هر دو دوره آینده، افزایش دما در حوضه گرگان‌رود همسو با گرمایش جهانی است و به تبع آن منجر به کاهش بارندگی در سطح منطقه می‌شود.

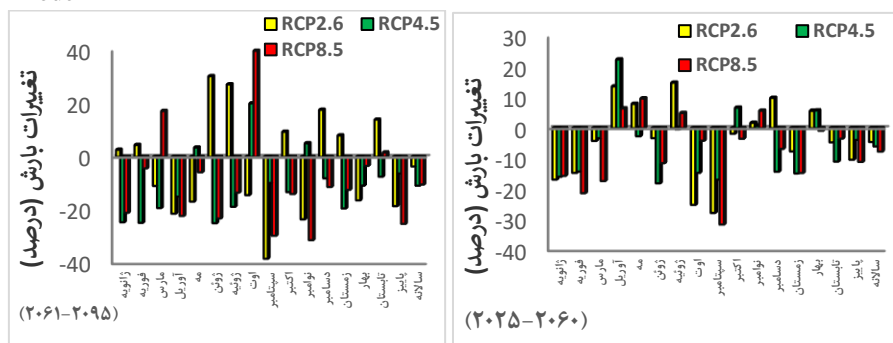
RCP4.5 و RCP 8.5، افزایش و بارش متوسط سالیانه، به ترتیب به میزان ۴/۵۱، ۵/۹۹ و ۷/۶۷ درصد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 کاهش می‌یابد. همچنین نتایج بررسی روند تغییرات دما و بارش سالیانه در دوره ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ بر اساس مدل BNU-ESM حاکی از آن است که متوسط دمای سالیانه، به ترتیب به میزان ۱/۲۱، ۱/۷۲ و ۲/۱۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 افزایش و بارش متوسط سالیانه به ترتیب به میزان ۳/۵۹، ۱۰/۸۱ و ۱۰/۳۹ درصد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 نسبت به دوره پایه کاهش می‌یابد. نتایج تحلیل تغییرات دما و بارش در دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ بر اساس مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و مدل گردش عمومی MIROC-ESM حاکی از آن است که متوسط دمای سالیانه، به ترتیب به میزان ۱/۷۱، ۱/۹۶ و ۲/۲۷ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5، افزایش و بارش متوسط سالیانه، به ترتیب به میزان ۲۷/۱، ۲۹/۶ و ۳۳//۳ تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 کاهش می‌یابد. همچنین نتایج تحلیل تغییرات دما و بارش سالیانه در دوره ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ بر اساس مدل SDSM حاکی از آن است که متوسط دمای سالیانه، به ترتیب به میزان ۱/۷۱، ۱/۹۵ و ۳/۰۶ درجه سانتی‌گراد تحت سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 افزایش و بارش متوسط سالیانه به ترتیب به میزان ۲۶/۷، ۴۰/۲ و





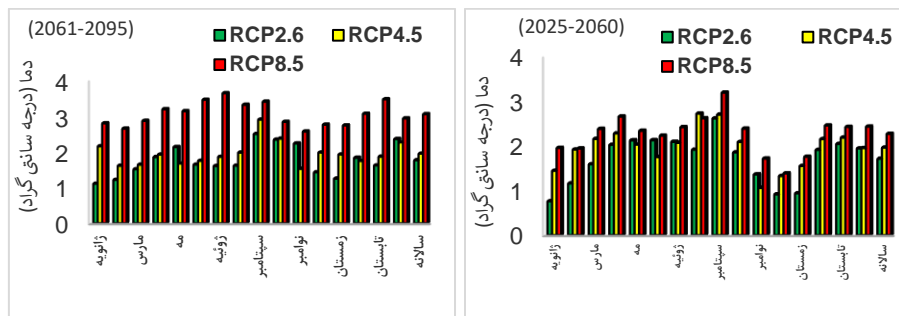
شکل (۵): اختلاف دمای دوره‌های آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه براساس مدل BNU-ESM

Figure (5): Temperature difference of near and far future periods compared to the base period based on BNU-ESM model



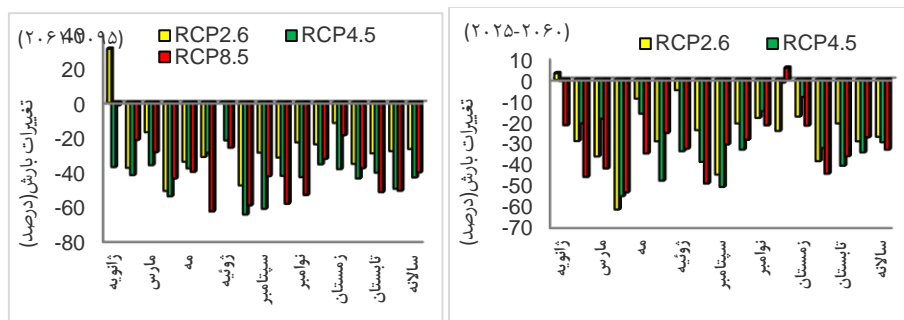
شکل (۶): اختلاف بارش دوره‌های آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه براساس مدل BNU-ESM

Figure (6): precipitation Difference of near and far periods compared to the base period based on the BNU-ESM model



شکل (۷): اختلاف دمای دوره‌های آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه براساس مدل MIROC-ESM

Figure (7): Temperature difference of near and far future periods compared to the base period based on model MIROC-ESM



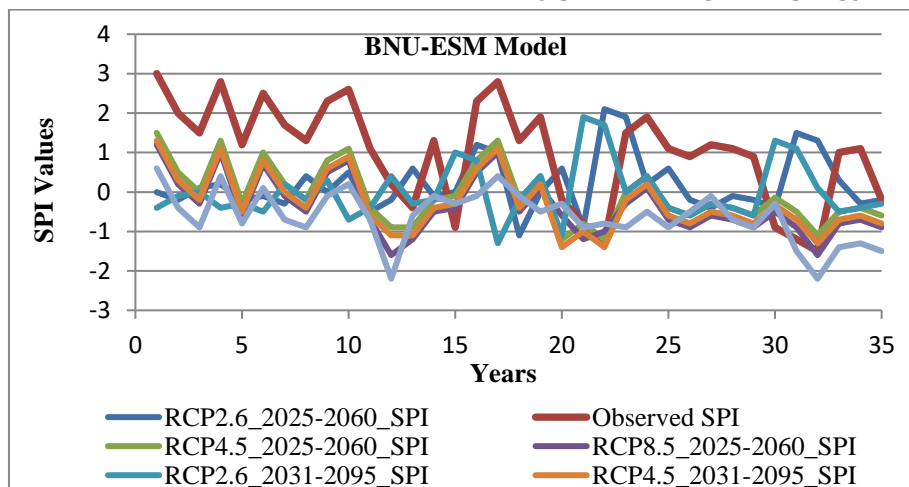
شکل (۸): اختلاف بارش دوره‌های آینده دور و نزدیک نسبت به دوره پایه براساس مدل MIROC-ESM

Figure (8): precipitation Difference of near and far periods compared to the base period based on the model MIROC-ESM

RCP2.6، RCP4.5 و RCP 8.5 با مقیاس زمانی سالانه بر اساس مدل‌های MIROC-ESM و BNU-ESM برآورد گردید (شکل‌های ۹ و ۱۰).

### ۳-۴- بررسی اثر تغییر اقلیم روی خشکسالی

پس از تعیین فراسنج‌های دما و بارش برای دوره‌های آینده، شاخص خشکسالی SPI برای دوره‌های مذکور بر اساس سه سناریوی



شکل (۹): مقایسه شاخص SPI سالانه برای دو دوره آینده بر اساس مدل BNU-ESM تحت سناریوهای RCP

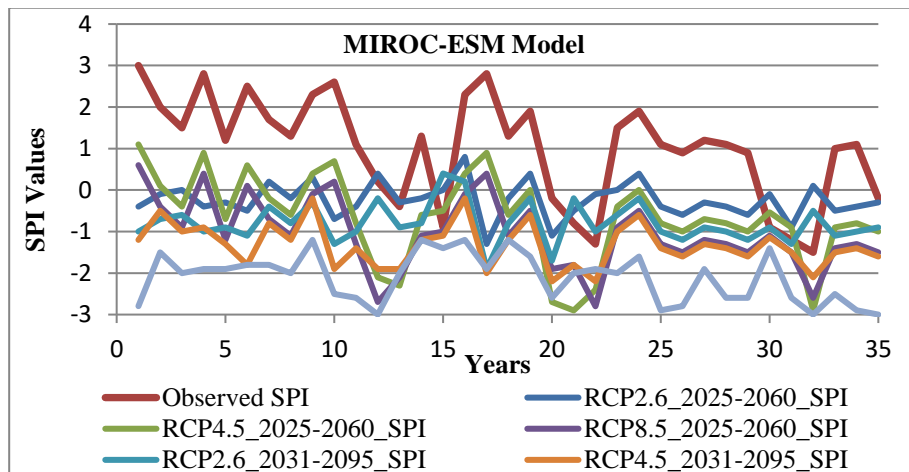
Figure (9): Annual SPI values for near and far future periods based on the BNU-ESM model under RCP scenarios

مقادیر SPI سالانه برای مدل MIROC-ESM در هر دو دوره آینده تحت هر سه سناریو نسبت به دوره پایه نیز کاهش چشمگیری نشان داده به طوری که این کاهش در مقیاسه با مدل BNU-ESM بیشتر است (شکل ۱۰). به عبارت دیگر، نتایج بررسی اثر تغییر اقلیم

نتایج نشان داد که مقادیر SPI سالانه برای مدل BNU-ESM در هر دو دوره ۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰ و ۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵ تحت هر سه سناریوی تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه کاهش یافته و در هر دو دوره آینده خشکسالی هواشناسی افزایش می‌یابد (شکل ۹). همچنین



روی خشکسالی آینده در هر دو مدل حاکی از تشدید خشکسالی هواشناسی در دوره های آینده تحت سناریوهای تغییر اقلیم می باشد.



شکل (۱۰): مقایسه شاخص SPI سالانه برای دو دوره آینده بر اساس مدل MIROC-ESM تحت سناریوهای RCP

Figure (10): Annual SPI values for near and far future periods based on the MIROC-ESM model under RCP scenarios

سدیدی و همکاران (۲۰۲۰) در بررسی تغییرات اقلیمی استان کرمان مطابقت دارد. همچنین بر طبق نتایج ضرایب خطا، مدل SDSM دارای عملکرد بهتری نسبت به روش عامل تغییر در ریزمقیاس‌نمایی فراسنج‌های بارش و دما بوده است. نتایج تغییرات دمایی در سطح این دو دوره در هر دو مدل نشان داد که حوضه آبریزگرگان‌رود به شدت متأثر از گرمایش جهانی می‌باشد؛ به گونه‌ای که تغییرات دمایی ناشی از افزایش دما در دوره آینده نزدیک و دور به ترتیب در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 گواهی بر این مدعاست. همچنین بررسی تغییرات بارندگی در هر دو مدل نشان داد که بارندگی در هر دو دوره آینده نزدیک و دور به ترتیب تحت سناریوهای انتشار کاهش می‌یابد، به طوریکه بیشترین کاهش در سناریوی RCP8.5 رخ

#### ۴- نتیجه گیری

در پژوهش حاضر به منظور ارزیابی اثر پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بر فراسنج‌های دما، بارش و خشکسالی حوضه آبریزگرگان‌رود از روش ریزمقیاس‌نمایی عامل تغییر (مدل گردش عمومی جو BNU-ESM) و ریزمقیاس‌نمایی SDSM (مدل گردش عمومی MIROC-ESM) و سناریوهای جدید انتشار (RCP) در دو دوره آینده نزدیک (۲۰۲۵ تا ۲۰۶۰) و دور (۲۰۶۱ تا ۲۰۹۵) بهره گرفته شد. همچنین بر اساس شاخص‌های آماری  $R^2$ ، RMSE و NSE به مقایسه عملکرد دو مدل مذکور در ریزمقیاس‌نمایی فراسنج‌های هواشناختی پرداخته شد. نتایج ارزیابی نشان داد که هر دو مدل کارایی لازم در پیش‌بینی بارش و دما در دوره‌های آینده را دارا هستند. نتایج به دست آمده از این پژوهش با نتایج

همکاران (۱۳۹۷) نیز این امر را تأیید می‌کند. بر طبق نتایج این پژوهش، در بین دو مدل گردش عمومی جو، مدل MIROC-ESM کمترین مقدار بارش، بیشترین مقدار دما و بیشترین تعداد سال با خشکسالی شدید را در مقایسه با مدل BNU-ESM پیش‌بینی می‌کند. با توجه به اقلیم خشک و نیمه‌خشک بودن حوضه آبریز گرگان‌رود، برای کاهش اثرات تغییر اقلیم می‌توان از راهکارهای لازم از قبیل تدابیری برای اصلاح نظام آبیاری و الگوی کشت و همچنین راهکارهایی به‌منظور افزایش راندمان آبیاری و کاهش تبخیر بهره‌جست.

خواهد داد. پیش‌بینی چنین شرایطی با پژوهش‌های محقینی نظیر دنیائی (۲۰۲۱) در حوضه آبریز گرگان‌رود و جی‌واتی<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۹) در حوضه آبخیز بالادست رودخانه اردن مطابقت دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌دهنده امکان رخداد خشکسالی‌هایی با شدت بیشتر در دوره‌های شبیه‌سازی شده آینده توسط مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و روش عامل‌تغییر است؛ به‌طوری‌که با نتایج مطالعات لوکاس و همکاران (۲۰۰۸) نیز همخوانی دارد. افزایش شدت خشکسالی در دوره‌های آینده تحت‌تأثیر افزایش دما و کاهش بارش می‌باشد که نتایج نوده فراهانی و



## Reference:

- Abbasi, F., Malbousi, Sh., Babaeian, I., Asmry, M. & Borhani, R., (2010). Climate Change Prediction Of South Khorasan Province During 2010-2039 By Using Statistical Downscaling Of Echo-G Data. *Journal of Soil and Water Agricultural Sciences and Technology*, 24(2), 233-218. (In Persian).
- Afshar, A. A., Hasanzadeh, Y., Besalatpour, A. A., & Pourreza-Bilondi, M. (2017). Climate change forecasting in a mountainous data scarce watershed using CMIP5 models under representative concentration pathways. *Theoretical and Applied Climatology*, 129(1-2), 683-699.
- Angelidis, P., Maris, F., Kotsovinos, N. & Hrissanthou, V. (2012). Computation of drought index SPI with alternative distribution functions. *Water resources management*, 26(9), 2453-2473.
- Azareh, A., Rafiei Sardooi, E. & Jafari Gadaneh, M. (2021). Investigating the Effect of Climate Change on Future Temperature, Precipitation, and Droughts Using BNU-ESM and HadGEM2 Models. *DEEJ*, 10(31):95-110
- Diaz-Nieto, J. & Wilby, R.L. (2005). A comparison of statistical downscaling and climate change factor methods: impacts on low flows in the River Thames, United Kingdom. *Climatic Change*, 69, 245-268.
- Donyaii, A.R. & Sarraf, A.P. (2021a). Evaluation of Hydro-Climatic Conditions of Gorganroud Catchment under the Effect of Climate Change using MIROC-ESM model. *Hydrogeomorphology*, 7(25), 204-183. doi: 10.22034/hyd.2021.44082.1572. (In Persian).
- Donyaii, A.R. (2021a). Evaluation of climate change impacts on the optimal operation of multipurpose reservoir systems using cuckoo search algorithm. *Environ Earth Sci.* 80, 663. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09951-6>.
- Donyaii, A.R. (2021b). Predicting the growth and development of Bandar-e-Gaz Town Using Fuzzy Cellular Automata (FCA). *Natural Ecosystems of Iran*, 12(3), 53-72. (In Persian).
- Donyaii, A.R. (2022). Evaluation of groundwater storage changes using GRACE satellite data in Ravansar plain aquifer in Kermanshah province. *Hydrogeomorphology*, 8(29), 43-23. doi: 10.22034/hyd.2021.46937.1595
- Donyaii, A.R., Sarraf, A.P. & Ahmadi, H. (2020a). Evaluation of Whale, Fruit Fly and Cuckoo Search Algorithms in Optimizing Multi-Objective Operation of Golestan Dam Reservoir Based on Multi-Criteria Decision-Making Method. *Water Resources Engineering*, 13(47), 85-100. (In Persian).
- Donyaii, A.R., Sarraf, A.P. & Ahmadi, H. (2020b). Presenting a new hybrid evolutionary algorithm in optimizing reservoir operation based on new combinative distance-based assessment (CODAS). *Journal of Water and Soil Conservation*, 27(5), 1-23. doi: 10.22069/jwsc.2020.17982.3359. (In Persian).
- Donyaii, A.R., Sarraf, A.P. & Ahmadi, H. (2021). Operation of the Golestan Dam Reservoir in Climate Change Conditions Using an Improved Multi-Objective Whale Optimization Algorithm. *jwmr.* 12 (23), 238-250 URL: <http://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-1085-en.html>. (In Persian).
- Dubrovsky, M., Svoboda, M. D., Trnka, M., Hayes, J., Wilhite, D. A., Zalud, Z. & Hlavinka, P. (2009). Application of relative drought indices in assessing climate-change impacts on drought conditions in Czechia. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(1), 155-171.

- Givati, A., Thirel, G., Rosenfeld, D. & Paz, D. (2019). Climate change impacts on stream flow at the upper Jordan River based on an ensemble of regional climate models. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 21, 92-109.
- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A., HosseinAlinejad, M. and Pourasghr, F. (2016). Impact of Climate Change on Precipitation and Temperature by Taking the Uncertainty of Models and Climate Scenarios (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia). *Journal of Hydrogeomorphology*. 3(7), 107-122. (In Persian).
- Kamal, A. R. & MassahBavani, A. R. (2012). Comparison of future uncertainty of AOGCM-TAR and AOGCM-AR4 models in the projection of runoff basin. *Journal of earth and space physics*. 38(3): 175-188.
- Kendall, M. (1975). Rank correlation methods (4th edn.) Charles Griffin. San Francisco, CA, 8.
- Lee, S. H., Yoo, S. H., Choi, J. Y. & Bae, S. (2017). Assessment of the Impact of Climate Change on Drought Characteristics in the Hwanghae Plain, North Korea Using Time Series SPI and SPEI: 1981-2100. *Water*. 2017; 9(8):579. <https://doi.org/10.3390/w9080579>
- Loukas, A., Vasilades, L. & Tzabiras, J. (2008). Climate change Effects on Drought Severity. *Advances in Geosciences*. 17, 23-29.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 245-259.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1995). Drought Monitoring with Multiple Time Scales, In Proc, 9th Conf. on Applied Climatology. January 15-20. *American Meteorological Society. Massachusetts*. pp 233-236.
- Moafimadani, F., Mosavibaygani, M. & Ansari, H. (2015). Prediction of Khorasan Razavi Province Drought Condition at 2011-2030 with SDSM Downscaling Model. *Geography and Environmental Hazard* 7(2), 157-171 (In Persian)
- Node Farahani, M.A., Rasekhi, A., Parmas, B. & Keshvari, A. (2018). The Effects of Climate Change on Temperature, Precipitation and Drought in Upcoming Period in Shadegan Basin. *Iran Water Resources Research*. 14(3), 160-173 (In Persian).
- Pourkarimi, Z., Moghaddasi, M., Mohseni Movahed, A. & Delavar, M. A. J. I. D. (2018). The Effect of Climate Change on the Hydrological and Agricultural Drought Characteristics in Zarinehrud Basin Using SRI and SSWI Indices and SWAT Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(5), 1145-1157. (In Persian)
- Sadidi, J., JafariGadneh, M., Sajedi, H. & Hamzehzadeh, G. (2020). The Study of trend and prediction of temperature changes in arid and semi-arid regions (Case study: Kerman province), *14th Congress of the Geographical Association of Iran*, Tehran.

## Performance Evaluation of BNU-ESM and MIROC-ESM models in Global Warming with a view to Future Climatic Parameters and Droughts (Case study: Gorganrood Catchment, Golestan Province)

Alireza Duniyaa<sup>1</sup>

### **Abstract**

In the present study, the effect of climate change on climatic parameters such as temperature, precipitation and future droughts in Gorganrood catchment were evaluated using the output of two general circulation models called MIROC-ESM و BNU-ESM under three scenarios (i.e., RCP 2.6, RCP4.5 و RCP8. 5) for the two periods as the near future (2025-2060) and the far future (2061-2095). The outputs of MIROC-ESM and BNU-ESM model were downscaled by SDSM model and Change Factor method, respectively. In order to evaluate the performance of the two methods, the statistical indices such as R, RMSE and NSE were applied. And to assess droughts, the standard precipitation index (SPI) was used annually during the baseline (1961-2020) as well as the future periods. The results showed that the SDSM model has a higher performance in predicting both temperature and precipitation parameters than the Change Factor method. The results of temperature and precipitation changes in both near and far future periods determined the effect of Global Warming on the future climate of Gorganrood catchment, so that the average annual temperature increases in all scenarios in both models, while reduction in the average annual rainfall. Moreover, according to the results of both MIROC-ESM و BNU-ESM models, the annual SPI values will decrease in both near and far future periods under all three scenarios compared to the baseline period while the increases in meteorological drought. The results of general circulation models showed that the MIROC-ESM model estimates the lowest amount of rainfall, the highest values of temperature and the highest number of years with severe drought compared to the BNU-ESM model.

### **Keywords**

RCP scenarios, Drought, Change Factor, SDSM

---

<sup>1</sup> PhD in Civil Engineering, Water Resources Expert, Golestan Regional Water Company, Gorgan, Iran