

**Investigating the Effect of Bias Correction on  
Quality Improvement of NEX-GDDP  
Downscaled Precipitation Data**V. Ghalami<sup>1</sup>, B. Saghafian<sup>2\*</sup>, and T. Raziei<sup>3</sup>**Abstract**

The use of temperature and precipitation data from the NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections dataset (NEX-GDDP) is increasingly expanding as one of the products derived from the global climate models. Investigating the quality of this product's precipitation data in Iran can help the researchers to consciously use them in hydrological and water resources practices. In this study, first, the degree of improvement of the monthly precipitation data of ACCESS1-0 model from the NEX-GDDP product was investigated against the corresponding GCM model as well as the observational data measured at stations located in eight homogeneous precipitation regions of Iran. Then the NEX-GDDP data was bias-corrected using the Quantile Mapping (QM) method through using the SSPLINE, QUANT, PTF, RQUANT and DIST functions. Comparison of monthly precipitation data of the selected models of the NEX-GDDP product with its raw GCM data showed that R, PBIAS, NSE, and KGE statistics have significantly improved respectively in 75%, 100%, 100%, and 88% of the studied stations. The correlation between the bias-corrected data and the observational data was also improved in 50% of the stations, the NSE and KGE were improved respectively in 75% and 62.5% of the stations, and PBIAS was improved in all stations. This study also showed that among the used bias correction functions, the RQUANT had the best performance.

**Keywords:** Bias Correction, NEX-GDDP Dataset, Precipitation, QM, GCM.

Received: December 3, 2021

Accepted: April 17, 2022

**بررسی تأثیر اصلاح اریبی بر بهبود کیفی داده‌های بارش  
ریزمقیاس سازی شده NEX-GDDP**وحید قلمی<sup>۱</sup>، بهرام ثقفیان<sup>۲\*</sup> و طیب رضیئی<sup>۳</sup>**چکیده**

استفاده از داده‌های دما و بارش ریزمقیاس سازی شده مرکز تبادلات داده‌های زمینی ناسا (NEX-GDDP) به عنوان یکی از محصولات مستخرج از مدل‌های اقلیمی جهانی به سرعت در حال گسترش است. بررسی کیفی داده‌های بارش این محصول در ایران می‌تواند پژوهشگران را در استفاده آگاهانه از آن در مطالعات هیدرولوژی و منابع آب یاری نماید. در این پژوهش ابتدا میزان کارایی داده‌های بارش ماهانه مدل ACCESS1-0 از محصول NEX-GDDP با داده‌های مدل GCM متناظر با آن و نیز داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های واقع در هشت ناحیه همگن بارشی ایران مورد مقایسه قرار گرفت و سپس میزان بهبود کیفی مقادیر بعد از اصلاح اریبی به روش نگاشت چندک (QM) با استفاده از پنج تابع SSPLINE، QUANT، PTF، RQUANT و DIST مقایسه شد. بررسی کارایی داده‌های بارش ماهانه مدل منتخب از محصول NEX-GDDP در مقایسه با داده‌های GCM خام آن نشان داد که آماره‌های R، PBIAS، NSE و KGE به ترتیب در ۷۵٪، ۱۰۰٪، ۱۰۰٪ و ۸۸٪ ایستگاه‌های مورد مطالعه به مقدار قابل توجهی بهبود یافته است و همبستگی داده‌های اصلاح اریبی شده با داده‌های مشاهداتی در ۵۰٪ ایستگاه‌ها، PBIAS در تمامی ایستگاه‌ها، NSE و KGE نیز به ترتیب در ۷۵٪ و ۶۲/۵٪ ایستگاه‌ها بهبود یافته است. این بررسی همچنین نشان داد که از میان توابع مورد استفاده، تابع RQUANT بهترین کارایی را در اصلاح اریبی داده‌ها داراست.

**کلمات کلیدی:** اصلاح اریبی، NEX-GDDP، بارش، GCM، QM.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۹/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱/۲۸

1- Ph.D. Candidate, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

2- Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: b.saghafian@gmail.com.

3- Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREO), Tehran, Iran.

\* Corresponding Author

Dor: [20.1001.1.17352347.1401.18.1.5.3](https://doi.org/10.17352/347.1401.18.1.5.3)

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استاد گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- استادیار مؤسسه تحقیقات حفاظت از خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات کشاورزی، آموزش و ترویج، تهران، ایران.

\* نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان تابستان ۱۴۰۱ امکانپذیر است.



ریزمقیاس‌سازی آنها برای استفاده در سطوح کوچکتر، محصولاتی با تغییر و اصلاح این داده‌ها تولید شده و در اختیار عموم قرار گرفته است که از جمله آنها می‌توان به داده‌های روزانه بارش و دمای ریزمقیاس‌سازی شده مرکز تبادلات داده‌های زمینی ناسا -NEX-GDDP<sup>۱</sup> اشاره نمود که تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 و از سال ۲۰۱۵ توسط ناسا در اختیار عموم قرار گرفته است و استفاده از این داده‌ها در مناطق مختلف جهان رو به رشد است. از جمله پژوهش‌های انجام شده با استفاده از این محصول می‌توان به پژوهش انجام یافته توسط Jain et al. (2019) اشاره نمود که در آن کارایی داده‌های NEX-GDDP، CMIP5 و Cordex نسبت به داده‌های مشاهداتی دپارتمان آب و هواشناسی هندوستان (IMD)<sup>۲</sup> بررسی و سپس بارش موسمی تابستانه هندوستان از سال ۱۹۷۵ تا ۲۰۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان داد در اکثر مناطق، داده‌های NEX-GDDP از کارایی بهتری نسبت به دو داده دیگر برخوردار است. در پژوهش‌های انجام شده توسط Bokhari et al. (2018)، کارایی چهار مدل دمایی از مدل‌های اقلیمی جهانی خام و مدل‌های NEX-GDDP نسبت به داده‌های CSIRO<sup>۳</sup> به عنوان داده‌های مشاهداتی مورد سنجش قرار گرفت و سپس به بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر آینده حوضه آبریز کابل در افغانستان از سال ۲۰۰۵-۱۹۷۵ پرداختند، نتایج گرچه برای همه نقاط یکسان نبوده ولی دمای مناطق بالادست حوضه در انتهای قرن ۲۱ تحت سناریوی RCP8.5 به اندازه ۶/۸ درجه سلسیوس افزایش دمایی نشان می‌دهد که می‌تواند در کاهش ذخیره برفی حوضه در تابستان مؤثر باشد. Chen et al. (2017) با مینا قرار دادن داده‌های شبکه‌بندی شده CNO 5.1 به عنوان داده‌های مشاهداتی، کارایی ۲۱ مدل از این محصول را با مدل‌های CMIP5 در چین مورد مقایسه قرار داد و سپس با بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی بر آینده بارش‌های حدی منطقه نشان داد که داده‌های NEX-GDDP کارایی لازم را برای نشان دادن مقادیر حدی بارش دارد و بارش‌های آتی با شدت و تناوب بیشتری به وقوع خواهد پیوست. در پژوهشی دیگر Bao and Wen (2017) آینده اقلیمی چین را براساس داده‌های بارش، دمای حداکثر و حداقل از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۵ مورد بررسی قرار دادند. برای این منظور کارایی مدل‌های NEX-GDDP و CMIP5 را نسبت به داده‌های CRU<sup>۴</sup> در سه حالت مجزا شامل مقایسه داده‌های دوره تاریخی با مقادیر مشاهداتی، مقایسه سناریوهای آتی با مقادیر خام داده‌های CMIP5 و بررسی کارایی این محصول در مقیاس‌های کوچک و در سطح حوضه‌ها و شهرها بررسی نمودند نتایج حاکی از آن است که داده‌های NEX-GDDP این پتانسیل را دارد که به یک سری داده پرکاربرد تبدیل شود. ضمن اینکه می‌توان از محصول NEX-GDDP به عنوان داده‌های کمکی در

کمبود آب در زمره بحران‌زاترین مباحث حال حاضر جهان محسوب می‌گردد که با تأثیرپذیری از پدیده پیش‌رونده گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی، شرایط حادث‌تری به خود گرفته و حساسیت سیاست‌گذاران و دانشمندان را برانگیخته است (Hayes et al., 2011). شیب منفی روند تغییرات بارش در مناطق مختلف ایران از اواسط قرن نوزده در اکثر نقاط کشور (بخصوص نواحی غربی) براساس داده‌های ایستگاهی و همچنین نتایج مدل‌های اقلیمی نشان از تشدید شرایط در اکثر مناطق ایران و بحرانی‌تر شدن وضعیت منابع آب در دوره آتی دارد (Alizadeh and Najafi, 2017). اهمیت موضوع، لزوم در دسترس بودن آمار با دقت قابل قبول و با طول دوره مناسب را به منظور مطالعات و تصمیم‌گیری‌های لازم می‌طلبد. پراکنش تنک و نامناسب ایستگاه‌های موجود کشور و کوتاه بودن طول دوره زمانی داده‌برداری بسیاری از آنها و همچنین در دسترس نبودن داده‌ها باعث گسترش استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و اقلیمی جهانی شده است. شناخت نقاط ضعف و قوت محصولات مختلف می‌تواند کاربران را در استفاده صحیح از این محصولات یاری نماید در این راستا بسیاری از داده‌ها برای اقلیم ایران مورد مطالعه و ارزیابی کیفی قرار گرفته است، از جمله این موارد می‌توان به داده‌های ASFEZARI و GPCC، Aphrodite (Nasrabadi et al., 2013)، UKMO و NCEP، TIGGE (Aminyavari and Saghafeian, 2019)، GPM-IMERG، TRMM و PERSIAN (Miri et al., 2016)، CHIRPS (Ghozat et al., 2020) و ERA-Interim ماهانه (Raziei and Sotoudeh, 2017) اشاره نمود. مدل‌های GCM نیز یکی از منابع اصلی ارزیابی تأثیرات آتی تغییرات اقلیم بر مباحث مرتبط با مدیریت منابع آب به حساب می‌آید (Taylor et al., 2012). از این مدل‌ها در پروژه‌های پژوهشی مختلف در نقاط مختلف جهان استفاده شده است که از آن جمله می‌توان به کارهای انجام شده در جنوب آسیا، همالیا عراق، جنوب غرب اتیوپی، چین، آمریکا کانادا اشاره نمود (Chen and Sun, 2015; Das et al., 2018; Dyer et al., 2020; Li et al., 2013; Salman et al., 2018; Sheffield et al., 2019). در ایران نیز کارایی این داده‌ها به صورت متوسط کل کشور توسط Abbasian et al. (2019) نسبت به داده‌های CRU مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته که نتایج نشان داده است کیفیت داده‌های دما بسیار بهتر از داده‌های بارشی است. همچنین نتایج بررسی‌های Samakosh et al. (2017) بر روی داده‌های هشت مدل GCM در محل ۸۸ ایستگاه پراکنده در ایران نشان داد که داده‌های بارش این مدل‌ها از کیفیت بالایی در ایران برخوردار نبوده است. با توجه به کیفیت پایین داده‌های بارش مدل‌های GCM، بزرگ مقیاس بودن این مدل‌ها و لزوم

مناطق فاقد آمار یا با داده ناقص استفاده نمود، همچنین می‌توان از این داده‌ها جهت بررسی تأثیرات تغییرات اقلیمی نیز استفاده کرد. بنابراین در این پژوهش به بررسی کارایی داده‌های بارش محصول NEX-GDDP و امکان افزایش کیفی آن با اصلاح اریبی پرداخته شده است.

خروجی‌های مدل‌های اقلیمی جهانی و مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCM<sup>۵</sup>) معمولاً دارای اریبی سیستماتیک نسبت به داده‌های مشاهداتی هستند و محصولات تولید شده از این داده‌ها نیز که به عنوان ورودی در پروژه‌های مختلف مرتبط با منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرند، دارای اریبی بوده و با تحت تأثیر قرار دادن نتایج باعث ایجاد خطای خروجی‌ها می‌شوند (Cannon et al., 2015; Maurer and Hidalgo, 2010). الگوریتم‌های مختلفی به منظور حذف یا به حداقل رساندن این خطاها توسعه داده شده، که از جمله آنها می‌توان به روش‌های QM، QDM، DBC، LS، LOCI، VS، PT اشاره نمود (Fang and Li, 2016). یکی از محبوب‌ترین و بهترین روش‌های اصلاح اریبی که براساس اصلاح از طریق چندک‌ها عمل می‌نماید روش QM است. پژوهش‌های بسیاری با استفاده از این روش انجام شده که نشان‌دهنده کیفیت بالای نتایج در استفاده از این روش بوده است. در این پژوهش نیز از این روش استفاده شده است. از جمله پژوهش‌های انجام شده با این روش می‌توان به بررسی‌های انجام شده توسط Fang et al. (2015) اشاره نمود که در آن با استفاده از روش‌های QM، DM، VARI، PT، LOCI و LS اصلاح اریبی بارش و دما را در یک ایستگاه هیدرولوژی و یک ایستگاه سینوپتیک در ناحیه‌ای خشک واقع در چین برای دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۵ و در مقیاس روزانه انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که روش‌های QM و PT روش‌های بهتری در اصلاح اریبی داده‌های بارش بر پایه شاخص‌های پایه فرکانسی (Percentile Value و Sd) و روش LOCI بهترین روش برپایه سری زمانی ( $R^2$  و NSE) هستند. RCMها نتایج بهتری نسبت به GCMها نشان داده‌اند ولی هر دو سری از مدل‌ها نیاز به اصلاح اریبی دارند. (Cannon et al. 2015) با استفاده از داده‌های CMIP5 به بررسی شاخص‌های حدی بارش در کانادا در یک دوره ۲۰ ساله از سال ۲۰۸۰ تا ۲۱۰۰ پرداخته‌اند. سپس به منظور بررسی کارایی روش‌های QM، QDM و DQM، اصلاح اریبی داده‌ها را براساس این روش‌ها با یکدیگر مقایسه نمودند، نتایج نشان داد که روش QM با وجود اینکه نتایج خوبی ارائه می‌نماید به صورت قابل توجهی باعث افزایش مصنوعی روندهای بارش نسبت به GCMهای خام در مقایسه با QDM و DQM می‌شود.

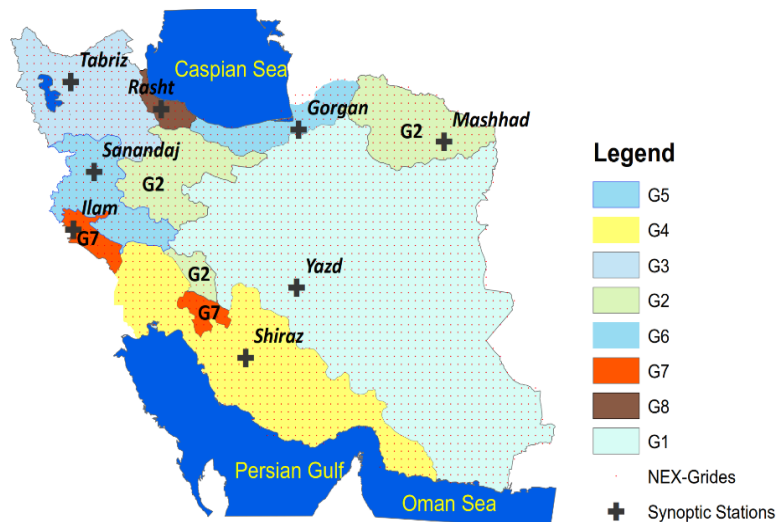
هدف از این پژوهش بررسی میزان بهبود کیفی داده‌های بارشی

محصول NEX-GDDP نسبت به GCM خام و در ادامه تعیین میزان تأثیر اصلاح اریبی این داده‌ها به روش نگاشت چندک در بهبود کیفی داده‌های مدل منتخبی از این محصول است. در بخش دوم این مقاله به معرفی محصول NEX-GDDP و محدوده مورد مطالعه، مناطق همگن بارشی، روش اصلاح اریبی QM، و شاخص‌های تعیین کارایی پرداخته شده است. در بخش سوم، ضمن بررسی کارایی داده‌های بارش این محصول نتایج با مقادیر مدل اقلیمی متناظر مقایسه شده است و در ادامه با پنج روش، اصلاح اریبی انجام و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش نیز در بخش پنجم ارائه گردیده است.

## ۲- منطقه مورد مطالعه و روش انجام پژوهش

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

قرارگیری رشته کوه‌های البرز در شمال و زاگرس در غرب، دو بیابان اصلی (لوت و کویر) در مرکز و شرق ایران ویژگی‌های عمده جغرافیایی کشور را تشکیل می‌دهند. همچنین، خلیج فارس و دریای عمان در جنوب و دریای خزر در شمال گستره‌های آبی مهمی هستند که باعث ایجاد تنوع آب و هوایی در کشور می‌شوند. محدوده مورد مطالعه در این مقاله کل قلمرو ایران است که یک منطقه بزرگ و متنوع از نظر جغرافیایی و اقلیمی را برای بررسی کارایی داده‌های تولید شده مختلف در اختیار قرار می‌دهد (شکل ۱). بیشترین مقادیر بارش در ایران در جبهه شمالی کوه البرز در منطقه ساحلی دریای خزر و در غرب ایران در امتداد رشته کوه‌های زاگرس مشاهده می‌شود. به دلیل تلاقی بین دریا و رشته کوه‌های البرز، میزان متوسط بارندگی سالانه هسته اولیه بارش کشور در جنوب غربی دریای خزر بین ۹۰۰-۱۰۰۰ میلی‌متر در سال است و دومین هسته بارشی ایران با متوسط بارندگی ۶۰۰-۴۰۰ میلی‌متر در سال در غرب رشته کوه‌های زاگرس مشاهده می‌شود. میزان بارندگی به سمت مناطق مرکزی، شرقی و جنوبی ایران کاهش می‌یابد و در مناطق خشک مرکزی به کمترین مقدار (۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در سال) نزدیک می‌شود (Raziei et al., 2014). براساس تقسیم‌بندی‌های (Modarres 2006)، ایران به هشت ناحیه همگن بارشی مختلف تقسیم شده که موقعیت جغرافیایی این نواحی در شکل ۱ نشان داده شده است. براساس این تقسیم‌بندی، G1 با کمترین میزان بارش در کشور ناحیه‌ای خشک در مرکز ایران است. ناحیه G2 مناطق کوهستانی ایران، G3 نواحی سردسیر ایران، G4 کرانه‌های خلیج فارس، G5 کوه‌های زاگرس با متوسط ارتفاعی حداکثر ۱۳۴۱ متر از سطح دریا، G6 کرانه‌های دریای خزر، G7 کوه‌های زاگرس با مقدار بارش بیشتر از ناحیه G5، و سرانجام G8 کوچکترین و پست‌ترین ناحیه بارشی ایران با مقدار بارش بیشتر از G6 را نشان می‌دهد.



**Fig. 1- Homogeneous precipitation regions, locations of synoptic stations and NEX-GDDP grid points over Iran (Modarres, 2006b)**

شکل ۱- مناطق همگن بارشی، ایستگاه‌های هواشناسی و شبکه گره‌های NEX-GDDP در ایران (Modarres, 2006b)

(GMFD) به عنوان داده‌های مشاهده‌ای، اختلاف شیب میانگین/ واریانس داده‌های بارش، دمای حداکثر و حداقل را بهبود بخشیده و خطای داده‌های مدل‌های GCM را کاهش می‌دهد. داده‌های GMFD<sup>۱۵</sup> برپایه ترکیب و اصلاح داده‌های NCEP/NCAR به دست آمده که خود این داده‌ها نیز براساس داده‌های مشاهده‌ای و مدل‌های عددی پیش‌بینی وضع هوا تولید شده است. بعد از ریزمقیاس‌سازی، اصلاح آریبی داده‌ها با روش نگاشت چندک (QM) انجام شده و سپس برای یکسان‌سازی تفکیک مکانی (رزولیشن) داده‌ها در مقیاس مکانی ۰/۲۵ درجه، داده‌ها در چند مرحله درون‌یابی شده‌اند. داده‌های این محصول به صورت رایگان از آدرس:

<https://cds.nccs.nasa.gov/nex-gddp/> قابل دانلود است (Melton, 2015; Thrasher et al., 2012). در این پژوهش از بین مدل‌های ۲۱ گانه این محصول داده‌های بارش مدل ACCESS1-0 به عنوان نمونه انتخاب و محاسبات و بررسی‌ها براساس آن انجام شده است. این مدل توسط دفتر هواشناسی سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی مشترک المنافع استرالیا (CSIRO) تولید و از نوع مدل‌های جفت شده اتمسفری اقیانوسی (AO) است. پراکنش جغرافیایی گره‌های این مدل در محدوده ایران در شکل ۱ با نقطه به رنگ قهوه‌ای نشان داده شده است. داده‌های روزانه این مدل در محل ایستگاه‌ها با درون‌یابی به روش IDW به دست آمده و سپس با در نظر گرفتن سال‌های کبیسه به داده‌های ماهانه تبدیل شده است.

بیش از ۲۰۰ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک در ایران وجود دارد که در آنها متغیرهای هواشناسی اندازه‌گیری شده و سپس توسط سازمان

## ۲-۲- داده‌های NEX-GDDP و داده‌های مشاهداتی

مرکز شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی ناسا (NCCS) داده‌هایی با کاربری‌های مختلف را جمع‌آوری، مرتب‌سازی، تولید و در اختیار عموم قرار داده است. از بین محصولات ارائه شده، داده‌های پیش‌بینی ریزمقیاس‌سازی شده جهانی مرکز تبادلات داده‌های زمینی ناسا (NEX-GDDP) یکی از پرکاربردترین داده‌ها است که از سال ۲۰۱۵ توسط این مرکز و برای دوره‌های تاریخی و آینده به منظور مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی داده‌های آب و هوایی در اختیار عموم قرار گرفته است. مجموعه داده‌های NEX-GDDP شامل داده‌های روزانه بارش و حداکثر و حداقل دمای نزدیک به سطح زمین از ۲۱ مدل جهانی اقلیمی (GCM) است. تمامی مدل‌ها از آرشیو GCMها در پروژه مقایسه مدل‌های جفت شده (CMIP5) بوده و به صورت آماری در مقیاس مکانی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه ریزمقیاس و اصلاح آریبی شده‌اند و در دو مسیر متمرکز شامل دوره تاریخی (از ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵) و سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 در دوره آتی (از ۲۰۰۵ تا ۲۰۹۹) در دسترس هستند. پدید آوردن‌گان هدف از تولید این داده‌ها را کمک به جامعه علمی در انجام محاسبات تأثیرات تغییر اقلیم در مقیاس محلی و ناحیه‌ای و درک عمومی از الگوهای اقلیمی آینده در مقیاس‌های ویژه شامل شهرک‌ها، شهرها و حوضه‌های آبریز ذکر نموده‌اند (Maurer and Hidalgo, 2010; Thrasher B., 2013; Wood et al., 2004). این داده‌ها با استفاده از روش BCS<sup>۱۴</sup> به صورت آماری ریزمقیاس‌سازی شده‌اند. این روش ریزمقیاس‌سازی آماری، برپایه معادلات رگرسیونی عمل نموده و با مقایسه داده‌های تاریخی GCMها (از سال ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۵) با داده‌های مرکز جهانی داده‌های هواشناسی

موفقیت اصلاح اریبی توسط آن در خروجی‌های GCM ها و RCM ها اثبات شده است. این روش به شکل مؤثری توانایی اصلاح اریبی میانگین، انحراف استاندارد و فرکانس روزهای مرطوب را دارد (Ali et al., 2019; Cannon et al., 2015; Jakob Themeßl et al., 2011).

روش نگاشت چندک برای تنظیم مقادیر بارش را می‌توان با استفاده از تابع توزیع تجمعی ( $^{ecdf}$ )، و معکوس آن ( $^{ecdf^{-1}}$ )، به شکل زیر بیان نمود:

$$P_{cor,m,d} = ecdf_{obs,m}^{-1}(ecdf_{raw,m}(P_{raw,m,d})) \quad (1)$$

که در آن  $ecdf$  و  $^{ecdf^{-1}}$  تابع توزیع تجمعی و معکوس آن،  $obs$  مقادیر مشاهداتی،  $m$  ماه مورد نظر،  $P_{raw}$  داده‌های خام بارش،  $d$  روز مورد نظر از ماه و  $P_{cor,m,d}$  بارش اصلاح اریبی شده در ماه و روز مورد نظر است (Fang et al., 2015). برای مدل‌سازی رابطه چندک-چندک می‌توان مستقیماً از تبدیلات پارامتری استفاده نمود، یا از CDF های تجربی در تبدیلات غیر پارامتری برای حل معادله (۱) یا رگرسیون غیر پارامتری از قبیل PTF، RQUANT، DIST، QUANT، SSPLINE و غیره استفاده نمود (Gudmundsson, 2016; Hashino et al., 2007; Lucatero et al., 2018).

در این پژوهش برای اصلاح اریبی به روش نگاشت چندک از نرم‌افزار R و پکیج qmap استفاده شده است. پکیج qmap این قابلیت را به کاربر می‌دهد تا برای مدل‌سازی رابطه چندک-چندک از CDF های تجربی یا رگرسیون ناپارامتری استفاده نماید. در این پژوهش هریک از این روش‌های رگرسیونی شامل PTF، RQUANT، DIST، QUANT و SSPLINE به صورت مجزا و برای هر هشت ایستگاه به کار گرفته شده است.

هواشناسی ایران (IRIMO) به دقت کنترل می‌شود. به منظور عملی نمودن این پژوهش از داده‌های ثبت شده در ۸ ایستگاه منتخب استفاده شده که هریک در یکی از مناطق همگن بارشی G1 تا G8 واقع شده است. موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها در شکل ۱ با علامت جمع (+) مشخص شده و منطقه همگن بارشی که در آن قرار گرفته‌اند عبارت است از: یزد (G1)، مشهد (G2)، تبریز (G3)، شیراز (G4)، سنندج (G5)، گرگان (G6)، ایلام (G7) و رشت (G8). همچنین، داده‌های مشاهداتی روزانه این ایستگاه‌ها در بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ (برای ۳۰ سال) آماده‌سازی شد. مشخصات ۸ ایستگاه سینوپتیک مورد استفاده در این پژوهش نیز در جدول ۱ آمده است. داده‌های ایستگاه‌های انتخابی از سایت سازمان هواشناسی ایران از آدرس: <http://irimo.ir/eng/index.php> قابل دسترسی است.

### ۲-۳- اصلاح اریبی به روش نگاشت چندک (QM)

با توجه به اینکه خروجی‌های مدل‌های GCM و مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای (RCM) معمولاً دارای اریب سیستماتیک نسبت به داده‌های مشاهداتی هستند، بنابراین داده‌های مستخرج از این مدل‌ها نیز که به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی و یا برای تجزیه و تحلیل و تولید داده‌های شبکه‌بندی شده مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز ممکن است دارای اریبی باشند و نتایج را تحت تأثیر و خطای خروجی‌ها را افزایش دهند (Cannon et al., 2015; Maurer and Hidalgo, 2010). الگوریتم‌های مختلفی به منظور حذف یا به حداقل رساندن این خطاها توسعه داده شده‌اند که از متداول‌ترین آنها می‌توان به روش نگاشت چندک اشاره نمود که یک روش اصلاح اریبی به روش ناپارامتری بوده و بدون هیچگونه فرض اولیه‌ای برای تمامی توزیع‌های آماری ممکن از بارش قابل استفاده است (Fang and Li, 2016). روش نگاشت چندک در اصل از تابع انتقال تجربی نشأت گرفته و

Table 1- Specifications of the eight synoptic stations used in this study

جدول ۱- مشخصات هشت ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی در این پژوهش

Stations Name	Longitude (°)	Latitude (°)	Altitude (meter)	Start year	End year	Period (year)
Yazd	54.17	31.54	1237.2	1952	2021	66
Mashhad	59.38	36.16	999.2	1951	2021	67
Tabriz	46.17	38.05	1361	1951	2021	67
Shiraz	52.36	29.32	1484	1951	2021	67
Sanandaj	47	35.2	1373.4	1959	2021	59
Gorgan	54.24	36.54	0	1952	2021	66
Ilam	46.26	33.38	1337	1986	2021	32
Rasht	49.37	37.19	-8.6	1956	2021	62

آن عدد یک است و هر چقدر مقدار آن کمتر شود نشان‌دهنده کیفیت پایین داده‌های مدل خواهد بود. آماره PBIAS میانگین انحراف سری زمانی شبیه‌سازی شده را از سری زمانی مشاهداتی اندازه‌گیری می‌کند. مقدار مطلوب آن صفر است که مقادیر مثبت بیان‌گر بیش‌برآورد و مقادیر منفی نشانگر کم برآورد کردن مدل است (Gupta et al., 1999; Sharifi et al., 2016).

در این پژوهش با استفاده از این سه آماره کارایی داده‌های خام مدل و اصلاح‌اریبی شده آن با هر یک از پنج روش رگرسیونی و در هر یک از هشت ایستگاه مورد مطالعه با کارایی داده‌های خام بارش ماهانه NEX-GDDP نسبت به داده‌های مشاهداتی مقایسه و بهترین روش انتخاب شده است. به منظور انتخاب بهترین روش مقادیر هر یک از آماره‌ها در هر ناحیه بارشی و با هر روش با وزن یک رتبه‌بندی شده و این رتبه‌ها با هم جمع بسته شدند، در مجموع حالتی که کمترین مقدار را داشت به عنوان بهترین حالت انتخاب شد.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- مقایسه کارایی داده‌های بارش ماهانه مدل GCM خام و NEX-GDDP

با توجه به اینکه داده‌های پایه محصول NEX-GDDP، مدل‌های جهانی اقلیمی (GCM) بوده و با ریزمقیاس‌سازی به روش BCSD و اصلاح‌اریبی به روش نگاشت چندک برای کل جهان به دست آمده است، بنابراین به منظور بررسی میزان بهبود کارایی این محصول در ایران مقادیر بارش ماهانه این مدل و مدل‌های جهانی اقلیمی (GCM) با مقادیر مشاهداتی ایستگاه‌ها مقایسه شد. شکل ۲ نمودار پراکنش داده‌های ماهانه بارش خام مدل ACCESS1-0 از مجموعه مدل‌های GCM و داده‌های NEX-GDDP را در برابر داده‌های مشاهداتی هشت ایستگاه سینوپتیک منتخب نشان می‌دهد.

معادلات مرتبط با رگرسیون‌های غیر پارامتری استفاده شده، از راهنمای استفاده از پکیج qmap قابل دسترسی است (Gudmundsson, 2016). کارایی هر یک از روش‌ها با یکدیگر و نیز با مقادیر مشاهداتی مقایسه شده است. برای این منظور از داده‌های روزانه بارش مدل ACCESS1-0 از محصول NEX-GDDP به عنوان داده‌های مدل و داده‌های روزانه ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب به عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. بازه زمانی مورد مطالعه دوره تاریخی ۳۰ ساله (۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵) بوده است. محاسبات برای هر کدام از پنج روش رگرسیونی و با استفاده از این داده‌ها تکرار شده و پس از تبدیل شدن به داده‌های ماهانه مورد ارزیابی کارایی قرار گرفته است.

#### ۴-۲- شاخص‌های ارزیابی آماری

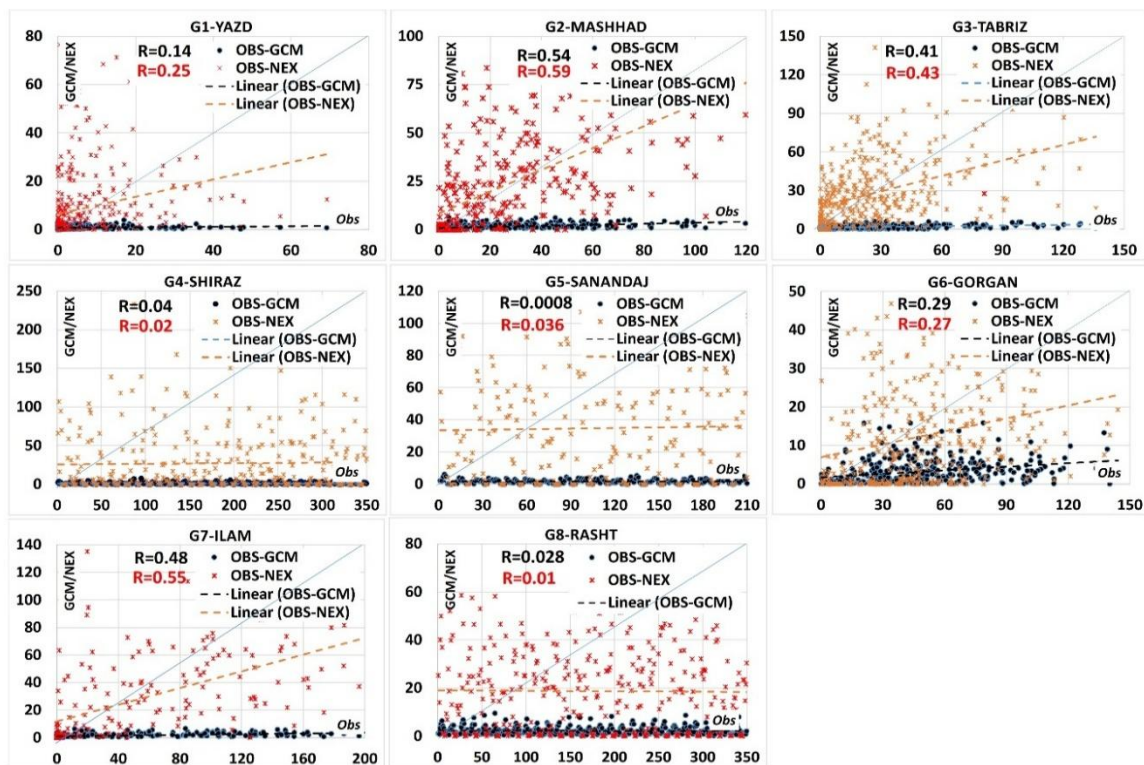
به منظور ارزیابی کارایی داده‌های بارش خام و پس پردازش شده نسبت به داده‌های مشاهداتی از سه آماره PBIAS، NSE و KGE (جدول ۲) استفاده شده که هر یک دارای استقلال شناسه‌ای نسبت به سایر آماره‌ها است. آماره NSE آماره‌ای نرمال شده است به عبارت دیگر، NSE مقدار نسبی میانگین خطای مربعات (MSE<sup>v</sup>) و واریانس داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد (Legates and McCabe, 1999; Nash and Sutcliffe, 1970). مقدار این آماره می‌تواند از مقدار  $-\infty$  تا یک تغییر نماید که مقدار منفی آن نشان‌دهنده عدم سازگاری داده‌های پیش‌بینی با مشاهداتی است در حالی که مقدار یک نشان‌دهنده سازگاری کامل داده‌های پیش‌بینی با مشاهداتی است. مقادیر NSE بین صفر و یک، کارایی قابل قبول تلقی می‌شود (Nash et al., 1970; McCabe et al., 2007; Moriasi et al., 2007). شاخص ترکیبی کلینگ-گوپتا (KGE) توسط (Gupta et al., 2009) به منظور تسهیل در تشخیص و تجزیه و تحلیل میزان کارایی مدل‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی توسعه داده شد است. مقدار بهینه

Table 2- Formulas of Performance indicators

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی کارایی

No	Verification measure	Formula	Prefect/No Skill
1	Percent Bias	$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^M (P_i - O_i)}{\sum_{i=1}^M O_i} \times 100\%$	0/
2	Nash-Sutcliffe Efficiency	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^M (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^M (O_i - \bar{O})^2}$	1/
3	Kling-Gupta Efficiency	$KGE = 1 - \sqrt{(R - 1)^2 + \left(\frac{C_d}{r_d} - 1\right)^2 + \left(\frac{\bar{P}}{\bar{O}} - 1\right)^2}$	1/

Note: P and O denote the model and corresponding observation, M: amount of model and observational data,  $\bar{O}$  and  $\bar{P}$ : Mean observational and model data, R: Pearson's Correlation Coefficient,  $C_d$  and  $r_d$ : Standard deviation of model and observed data



**Fig. 2- Scatterplot of monthly precipitation data of GCM and NEX-GDDP models vs observational data**  
**شکل ۲- نمودار پراکنش داده‌های ماهانه بارش GCM و NEX-GDDP در برابر داده‌های مشاهداتی**

مانند مشهد، شیراز و سنندج به صفر نزدیک شده است. بایاس GCMها که در ابتدا در تمامی موارد منفی بود بعد از تبدیل شدن به محصول NEX کاهش یافته است و حتی در ۲۵٪ موارد مقدار مثبت به خود گرفته است. با توجه به شکل ۳-۳ که مقادیر شاخص NSE را نشان می‌دهد، در ۸۸٪ موارد مقدار این شاخص به میزان قابل توجهی بهبود یافته است و تنها در ایستگاه یزد (واقع در مناطق بارشی خشک G1) کاهش کیفی پیدا نموده است. این در حالی است که داده‌های خام GCMها در ایستگاه یزد کمترین خطا را در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه دارد. بیشترین مقدار خطای تعیین شده توسط آماره NSE در GCMها مربوط به گرگان و سپس رشت بوده که بعد از تبدیل شدن به محصول NEX نیز خطای قابل توجهی از خود نشان داده‌اند.

با توجه به مقادیر نمایه KGE که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است، میزان خطای داده‌های NEX در مقایسه با داده‌های خام GCM در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافته است. نمودار شکل ۳-۳ نشان می‌دهد که داده‌های خام GCM و NEX در ایستگاه رشت (ناحیه G8) بیشترین خطا و در ایستگاه‌های مشهد (ناحیه G2) و سنندج (ناحیه G5) کمترین خطا را نشان می‌دهند.

محورهای افقی و قائم این نمودارها مقادیر متوسط بارش ماهانه را در دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۷۶ بر حسب mm/month نشان می‌دهد. هریک از این هشت ایستگاه منتخب در یکی از مناطق همگن بارشی واقع شده‌اند. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد در شش منطقه از هشت منطقه (۷۵٪ موارد) همبستگی بین داده‌های بارشی NEX و مشاهده‌ای نسبت به داده‌های GCM بهبود یافته و پراکنش نقاط داده‌های NEX به خط وایزش ۱:۱ بسیار نزدیکتر شده است. همانگونه که دیده می‌شود مقدار این همبستگی در مناطق G6 (گرگان) و G8 (رشت) که نواحی خزری با بارش زیاد را شامل می‌شوند کمتر است. بیشترین میزان همبستگی داده‌های NEX با مقادیر مشاهداتی در ایستگاه مشهد و کمترین آن در ایستگاه رشت دیده می‌شود.

نتایج بررسی کارایی متوسط داده‌های بارشی ماهانه مدل منتخب ACCESS1-0 از محصول NEX-GDDP نسبت به داده‌های مشاهداتی در مناطق هشتگانه بارشی در مقایسه با مقادیر متناظر با آن در مدل GCM، با سه آماره NSE، PBIAS و KGE در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۳-۳ که مقادیر اریبی را به درصد نشان داده است، مقدار اریب داده‌های NEX نسبت به GCM، بدون استثناء در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافته است و در برخی ایستگاه‌ها

داده‌های خام GCM و NEX در ایستگاه‌های ساحلی دریای خزر دارای کمترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی می‌باشند که پس از اصلاح در داده‌های NEX-GDDP نیز همچنان این همبستگی نسبت به دیگر ایستگاه‌ها کمترین و واریبی آن بالاترین است. بر اساس آماره‌های NSE و KGE نیز بیشترین مقدار خطای داده‌های خام

داده‌های خام GCM و NEX در ایستگاه‌های ساحلی دریای خزر دارای کمترین همبستگی با داده‌های مشاهداتی می‌باشند که پس از اصلاح در داده‌های NEX-GDDP نیز همچنان این همبستگی نسبت به دیگر ایستگاه‌ها کمترین و واریبی آن بالاترین است. بر اساس آماره‌های NSE و KGE نیز بیشترین مقدار خطای داده‌های خام

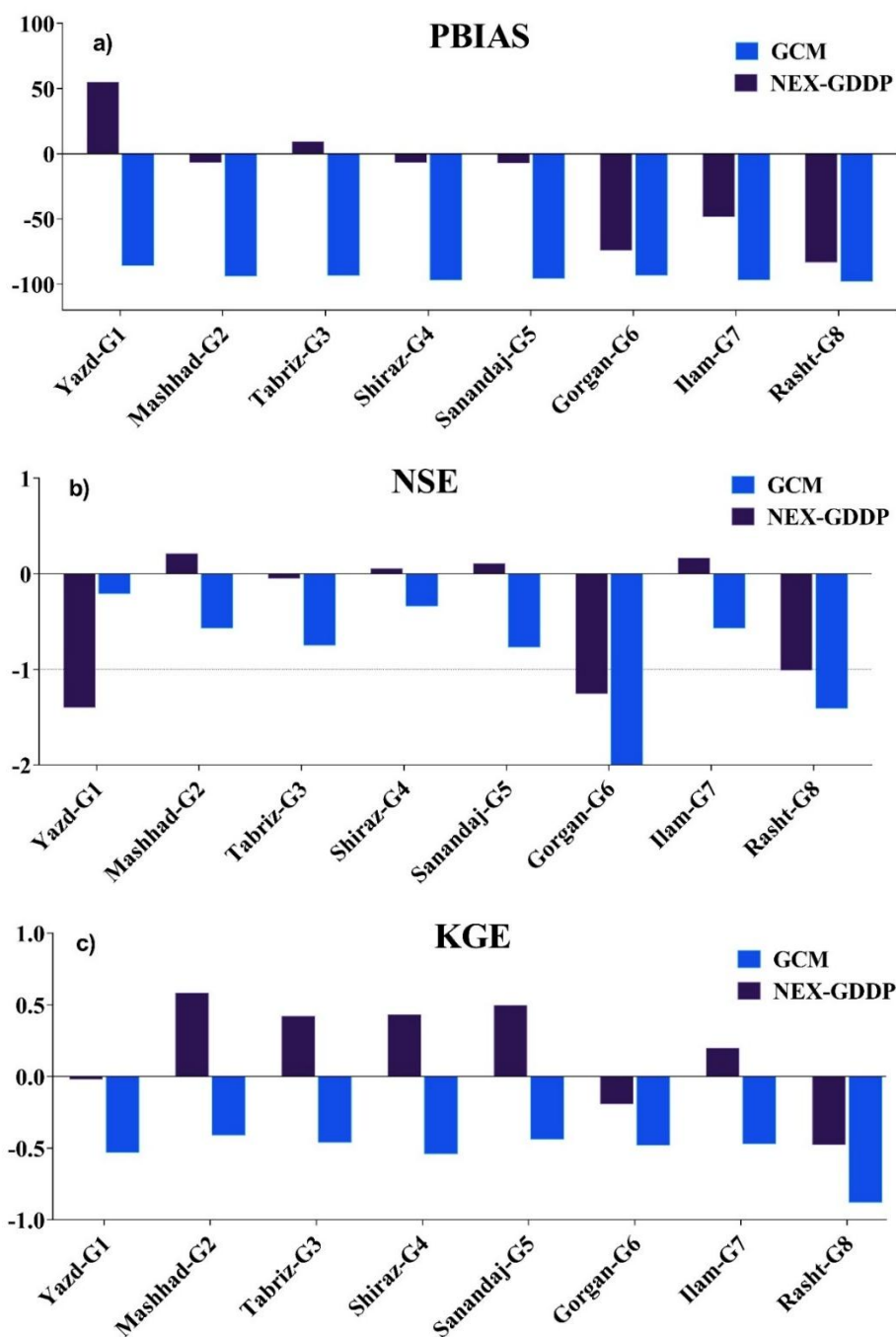


Fig. 3- Efficiency of the monthly raw precipitation data of GCM and NEX-GDDP models vs observational data

شکل ۳- کارایی داده‌های بارش ماهانه خام GCM و NEX-GDDP نسبت به داده‌های مشاهداتی



### ۳-۲- اصلاح اریبی داده‌های بارش ماهانه NEX-GDDP

با مقایسه داده‌های بارش خام GCM و NEX با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه ملاحظه می‌گردد که با وجود اینکه داده‌های NEX از کیفیت بهتری نسبت به داده‌های خام مدل‌های GCM برخوردارند ولی در کل از کیفیت پایین‌تری نسبت به داده‌های دمایی حداکثر و حداقل این محصول که قبلاً کارایی آنها در پژوهش انجام شده توسط (Ghalami et al. (2021) مورد بررسی قرار گرفته برخوردار است.

شکل ۴ کارایی داده‌های خام بارش ماهانه مدل ACCESS1-0 از محصول NEX-GDDP و داده‌های اصلاح اریبی شده آن به روش نگاشت چندک و با بهره‌گیری از پنج تابع رگرسیونی PTF، RQUANT، QUANT، DIST و SSPLINE را با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در هشت ناحیه همگن بارشی G1-G8 در بازه زمانی ۲۰۰۵-۱۹۷۶ به کمک سه آماره PBIAS، NSE و KGE مورد مقایسه قرار می‌دهد. در تمامی نمودارها محور افقی ایستگاه سینوپتیک و محور قائم مقادیر آماره را نشان می‌دهد. نتایج مقایسه با آماره PBIAS در شکل ۴-a نشان می‌دهد که اصلاح اریبی با تمامی روش‌ها و در تمامی مناطق باعث کاهش میزان اریبی شده و تأثیر مثبتی در بهبود کیفی داده‌ها داشته است. تابع PTF کمترین میزان تأثیر در اصلاح اریبی را داشته است و حتی در ایستگاه مشهد (ناحیه G2) و شیراز (ناحیه G4) باعث افزایش میزان اریبی داده‌ها شده است. در مجموع در ایستگاه‌های گرگان (ناحیه G6) و رشت (ناحیه G8) که بیشترین مقدار اریبی داده‌های خام را داشته‌اند، بهبود اریبی مناسبی ملاحظه می‌شود هرچند تابع SSPLINE در اکثر موارد نتایج خوبی ارائه نکرده است. شکل ۴-b نتایج آماره NSE را نشان داده است. با توجه به این شکل به جز گرگان (ناحیه G6) و شیراز (ناحیه G4) در سایر نواحی اصلاح اریبی باعث کاهش میزان خطا گردیده است. در رشت (ناحیه G8) این اصلاح اریبی تأثیر قابل توجهی نداشته و حتی تابع DIST باعث افزایش خطا در این ناحیه شده است. شاخص KGE به دلیل اینکه مقادیر توام همبستگی و انحراف استاندارد داده‌های مدل را نسبت به مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد می‌تواند شاخص مناسبی برای تعیین میزان بهبود کیفی داده‌ها باشد. با توجه به شکل ۴-c ملاحظه می‌گردد که اصلاح اریبی در ایستگاه‌های مشهد (ناحیه G2)، شیراز (ناحیه G4) و سنندج (ناحیه

G5) تأثیر قابل توجهی در مقادیر آماره KGE نسبت به داده‌های خام نداشته ولی در سایر موارد باعث بهبود کیفی داده‌ها شده که بیشترین تأثیر مثبت در رشت (ناحیه G8)، گرگان (ناحیه G6) و یزد (ناحیه G1) اتفاق افتاده است.

جدول ۳ رتبه‌بندی کارایی داده‌های ماهانه بارش خام NEX-GDDP و تأثیرات روش‌های اصلاح اریبی با روش نگاشت چندک را براساس پنج تابع رگرسیونی PTF، RQUANT، QUANT، DIST و SSPLINE در نواحی هشتگانه همگن بارشی و براساس سه آماره مورد استفاده در این پژوهش شامل KGE، PBIAS و NSE نشان می‌دهد. در این رتبه‌بندی از وزن‌دهی واحد برای هر آماره (اثر دهی مساوی) استفاده شده و سپس رتبه کارایی مجموع سه آماره برای هر ناحیه به دست آمده است. نتایج رتبه‌بندی مجموع سه آماره برای هر ایستگاه نشان می‌دهد که مجموعاً در ۷۵٪ ایستگاه‌ها تابع RQUANT بالاترین رتبه بهبود کیفی را کسب نموده است. در ایستگاه تبریز (ناحیه G3) تابع PTF و در ایستگاه گرگان (ناحیه G6) تابع DIST رتبه اول را در میان سایر روش‌ها کسب نموده است ولی در ۵۰٪ ایستگاه‌ها تابع DIST ضعیف‌ترین نتیجه را ارائه نموده است. در مجموع روش RQUANT در رتبه اول و توابع QUANT، SSPLINE، PTF، داده‌های خام NEX به ترتیب در رتبه‌های بعدی و در نهایت تابع DIST ضعیف‌ترین نتیجه را کسب نموده‌اند.

شکل ۵ نمودارهای پراکنش داده‌های ماهانه بارش اصلاح اریبی شده مدل ACCESS1-0 محصول NEX-GDDP با استفاده از روش نگاشت چندک و تابع RQUANT (به عنوان تابع با بهترین عملکرد براساس نتایج جدول ۴) و داده‌ها خام NEX-GDDP را در برابر داده‌های مشاهداتی هشت ایستگاه منتخب از سال ۲۰۰۵-۱۹۷۶ نشان می‌دهد. محور افقی این نمودارها نشان دهنده داده‌های مشاهداتی و محور قائم نشان‌دهنده داده‌های مدل هستند که واحد هر دو محور قائم mm/month است. نتایج نشان می‌دهد که در ۵۰٪ موارد همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و مدل بعد از اصلاح اریبی افزایش یافته یا ثابت باقیمانده است و در ۵۰٪ باقیمانده کاهش یافته است. بیشترین بهبود همبستگی بعد از اصلاح اریبی در ایستگاه سنندج (ناحیه G5) و کمترین آن در ایستگاه رشت (ناحیه G8)، بدون تغییر دیده می‌شود. بیشترین مقدار افت (کاهش) نیز در ایستگاه تبریز به وقوع پیوسته است.

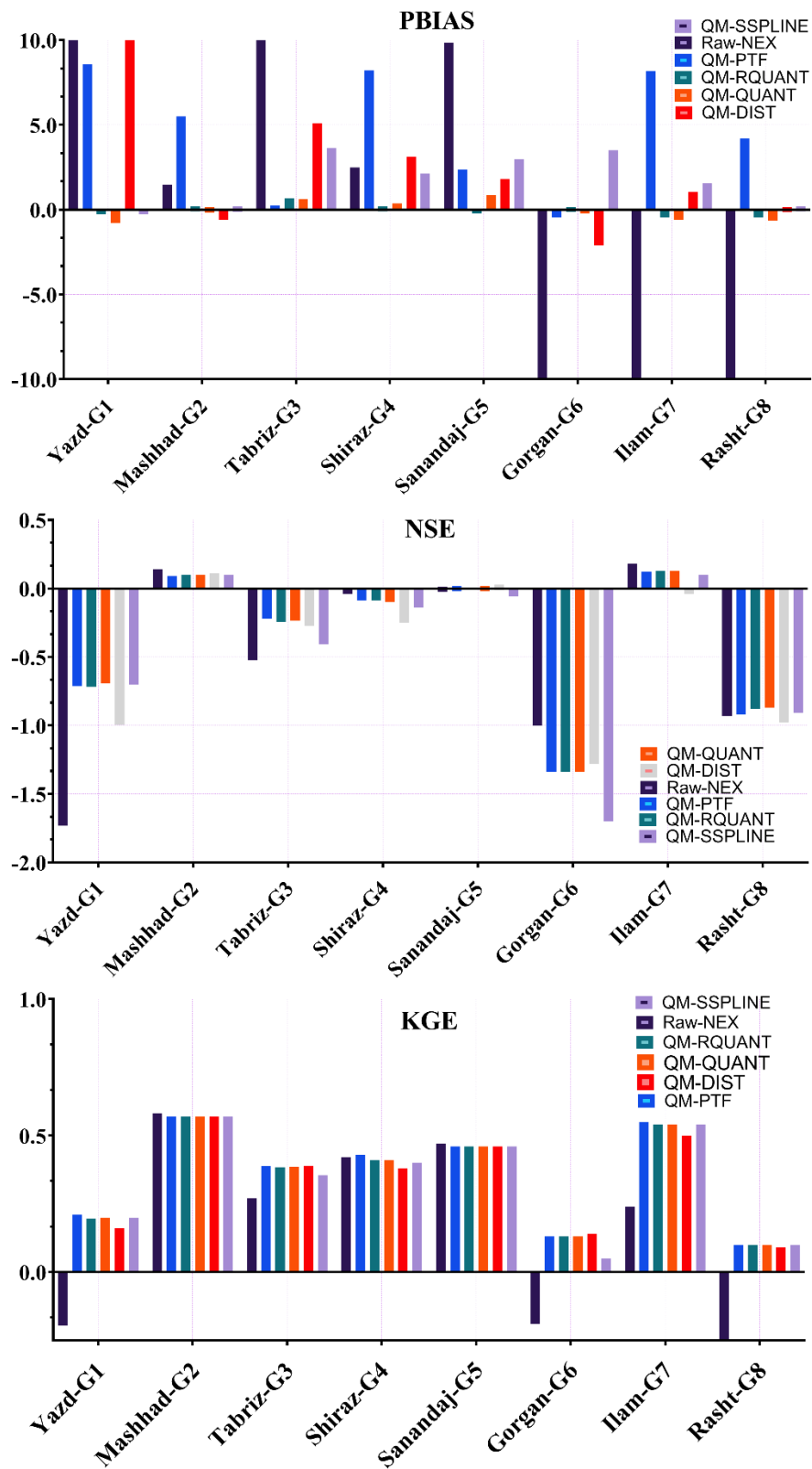


Fig. 4- Efficiency of raw and bias corrected precipitation data of NEX-GDDP product  
 شکل ۴- کارایی داده‌های خام و اصلاح‌اریبی شده بارش ماهانه NEX-GDDP

Table 3- Ranking of bias correction efficiency of the five regression functions with QM method

جدول ۳- رتبه‌بندی کارایی اصلاح اربیبی پنج تابع رگرسیونی با روش نگاشت چندک

City/Zone	Statistics	Raw-GDDP	QM-PTF	QM-RQUANT	QM-QUANT	QM-DIST	QM-SSPLINE
Yazd-G1	NSE	3	1	1	1	2	1
	PBIAS	5	3	1	2	4	1
	KGE	2	1	1	1	1	1
	total	10	5	3	4	7	3
	Ranking	5	3	1	2	4	1
Mashhad-G2	NSE	1	4	3	3	2	3
	PBIAS	5	6	1	3	4	2
	KGE	1	2	2	2	2	2
	total	7	12	6	8	8	7
	Ranking	2	4	1	3	3	2
Tabriz-G3	NSE	6	1	3	2	4	5
	PBIAS	6	1	3	2	5	4
	KGE	6	2	4	3	1	5
	total	18	4	10	7	10	14
	Ranking	5	1	3	2	3	4
Shiraz-G4	NSE	1	2	2	3	5	4
	PBIAS	4	6	1	2	5	3
	KGE	2	1	3	3	5	4
	total	7	9	6	8	15	11
	Ranking	2	4	1	3	6	5
Sanandaj-G5	NSE	1	4	2	4	3	5
	PBIAS	6	4	1	2	3	5
	KGE	1	2	5	4	3	4
	total	8	10	8	10	9	14
	Ranking	1	3	1	3	2	4
Gorgan-G6	NSE	1	3	5	4	2	6
	PBIAS	6	3	1	2	4	5
	KGE	4	2	2	2	1	3
	total	11	8	8	8	7	14
	Ranking	3	2	2	2	1	4
Ilam-G7	NSE	1	3	2	2	5	4
	PBIAS	6	5	1	2	3	4
	KGE	4	1	2	2	3	2
	total	11	9	5	6	11	10
	Ranking	5	3	1	2	5	4
Rasht-G8	NSE	5	4	2	1	6	3
	PBIAS	6	5	3	4	1	2
	KGE	4	1	1	1	3	2
	total	15	10	6	6	10	7
	Ranking	4	3	1	1	3	2
Overall Ranking		5	4	1	2	6	3

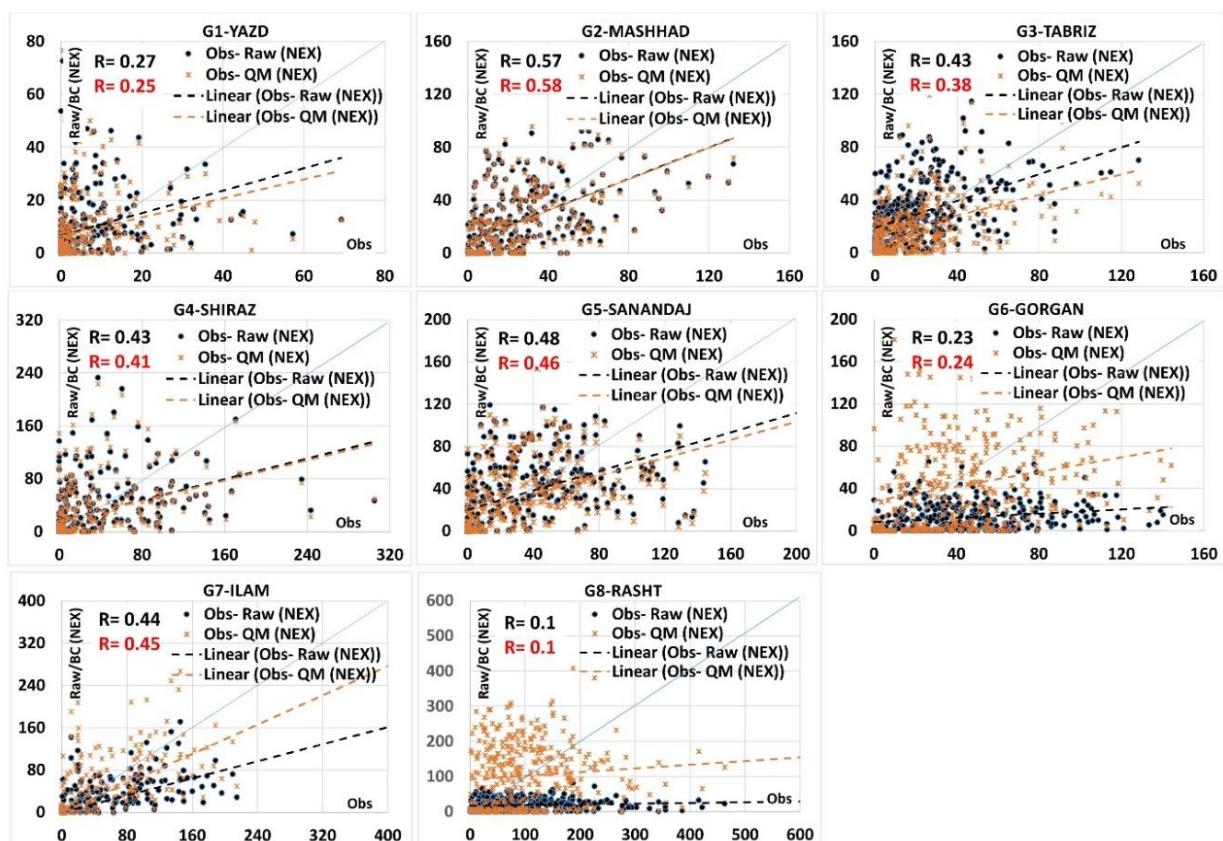


Fig. 5- Scatterplot of raw and bias corrected monthly rainfall data of the NEX-GDDP dataset

شکل ۵- نمودار پراکنش داده‌های ماهانه بارش NEX-GDDP خام و اصلاح آریبی شده

می‌شوند از جمله مباحثی است که بایستی به دقت مورد بررسی قرار گیرد. در این مقاله ابتدا میزان بهبود کارایی داده‌های بارش محصول NEX-GDDP که با اصلاح آریبی و ریزمقیاس‌سازی مدل‌های GCM به دست آمده و از سال ۲۰۱۵ توسط ناسا در اختیار عموم قرار گرفته بررسی شده است. برای این منظور مدل منتخب ACCESS1-0 از محصول NEX-GDDP در مقیاس ماهانه با مدل‌های خام GCM متناظر با آن در بازه زمانی ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ در مقیاس با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های واقع در هشت ناحیه همگن بارشی ایران و به کمک سه آماره PBIAS, NSE و KGE مقایسه و ارزیابی شده است. سپس داده‌های محصول مورد نظر در هشت ایستگاه مورد بررسی با استفاده از پنج تابع SSPLINE, QUANT, PTF, QUANT, DIST و به روش نگاهت چندک اصلاح آریبی شده و میزان بهبود کیفی هریک از توابع با یکدیگر مقایسه شده است.

مقایسه همبستگی مدل منتخب NEX و GCM با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که در ۷۵٪ ایستگاه‌ها همبستگی بین داده‌های بارشی NEX نسبت به داده‌های مشاهداتی در مقیاس با GCM بهتر شده و

مقایسه شکل‌های ۲ و ۵ نشان می‌دهد که در ۶۲/۵٪ از ایستگاه‌ها با وجود کاهش همبستگی بعد از اصلاح آریبی مقادیر همبستگی نسبت به داده‌های خام GCM افزایش داشته است و فقط در ایستگاه‌های تبریز (ناحیه G3)، گرگان (ناحیه G6) و رشت (ناحیه G8) کاهش اتفاق افتاده است. در مجموع مشاهده می‌گردد که روش نگاهت چندک هم در اصلاح آریبی محصول NEX-GDDP از مدل خام و هم در اصلاح آریبی مجدد مقادیر حداکثری (بیش از مقدار متوسط بارش هر ایستگاه) عملکرد مناسبی در بهبود همبستگی نداشته است هر چند در مقادیر پایین بارش نقاط حول خط تقارن تمرکز بیشتری یافته است. کاهش میزان همبستگی در برخی نواحی، افزایش یا کاهش خطا در اثر اصلاح آریبی با روش نگاهت چندک یا ریزمقیاس‌نمایی در سایر پژوهش‌های مشابه نیز گزارش شده است (Kolachian et al., 2021; Zhao et al., 2017).

#### ۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

تعیین میزان کارایی محصولاتی که به صورت عمومی توسط محققین و مهندسين در نقاط مختلف جهان با کاربری‌های مختلف به کار گرفته

پراکنش نقاط پیرامون خط وایزش ۱:۱ بهبود یافته و فقط در مناطق G6 (گرگان) و G8 (رشت) که نواحی خزری (با بارش زیاد) را شامل می‌شوند همبستگی کمتری مشاهده شده است.

روش نگاشت چندک کسب نموده‌اند. در مجموع رتبه‌بندی کل روش‌ها، تابع RQUANT در رتبه اول و توابع QUANT، DIST، SSPLINE، PTF، داده‌های خام NEX-GDDP و در نهایت DIST در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

مقادیر درصد اریبی در NEX نسبت به مدل GCM متناظر با آن بدون استثنا در تمامی ایستگاه‌ها کاهش یافته و در برخی ایستگاه‌ها مثل مشهد، شیراز و سنندج به نزدیک صفر رسیده است. اریبی در مدل منتخب GCM منفی بوده ولی در NEX مقدار مثبت به خود گرفته است. مقادیر شاخص NSE در ۸۸٪ ایستگاه‌ها و KGE در تمامی ایستگاه‌ها به میزان قابل توجهی بهبود یافته است و NSE تنها در ایستگاه یزد (واقع در مناطق بارشی خشک G1) کاهش کیفی پیدا نموده است. براساس مقادیر KGE، رشت (ناحیه G8) بیشترین مقدار خطا را به خود اختصاص داده و مشهد (ناحیه G2) و سنندج (ناحیه G5) بیشترین بهبود را نشان داده‌اند.

در ۵۰٪ موارد همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و مدل بعد از اصلاح اریبی افزایش یافته یا ثابت باقیمانده است و در ۵۰٪ باقیمانده کاهش یافته است. در ۶۲/۵٪ از ایستگاه‌ها با وجود کاهش همبستگی بعد از اصلاح اریبی، مقادیر همبستگی نسبت به داده‌های خام GCM افزایش داشته‌اند که در مجموع مشاهده می‌گردد که روش QM هم در اصلاح اریبی محصول NEX-GDDP از مدل GCM خام و هم در اصلاح اریبی مجدد مقادیر حداکثری (بیش از مقدار متوسط بارش هر ایستگاه)، عملکرد مناسبی در بهبود همبستگی نداشته است. نتایج این پژوهش برآوردهای امیدوارکننده‌ای از کیفیت محصول NEX-GDDP نسبت به مدل GCM خام در ایران نشان می‌دهد و می‌تواند محققین را در انتخاب روش مناسب اصلاح اریبی در برآوردهای آتی از تأثیرات اقلیمی یاری نماید.

داده‌های مدل GCM ایستگاه‌های واقع در نواحی ساحلی دریای خزر دارای همبستگی پایین و اریبی بالا با داده‌های مشاهداتی بوده و داده‌های NEX-GDDP نیز از همبستگی کمتر و اریبی بالاتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها برخوردار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که داده‌های بارش مدل‌های جهانی اقلیم در مناطق ساحلی ایران از دقت کمتری برخوردارند.

#### پی‌نوشت‌ها

- 1- NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections
- 2- Indian Meteorological Department
- 3- Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization
- 4- Climatic Research Unit
- 5- Regional Climate Models
- 6- Quantile Mapping
- 7- Quantile Delta Mapping
- 8- Daily Bias Correction
- 9- Linear Scaling
- 10- Local Intensity Scaling
- 11- Variance Scaling of Temperature
- 12- Power Transformation of precipitation
- 13- Representative Concentration Pathways
- 14- Bias Corrected and Special Disaggregation method
- 15- Global Meteorological Forcing Dataset
- 16- Empirical Cumulative Distribution Function
- 17- Mean Square Error

اصلاح اریبی با روش نگاشت چندک با تمامی روشها و در تمامی مناطق باعث کاهش میزان اریبی (PBIAS) شده است و تابع PTF کمترین تأثیر در اصلاح اریبی را داشته است. ایستگاه‌های گرگان (ناحیه G6) و رشت (ناحیه G8) که بیشترین مقدار اریبی داده‌های خام را داشته‌اند در اثر اصلاح اریبی، بهبود اریبی مناسبی را تجربه کرده‌اند. اصلاح اریبی به جز در گرگان (ناحیه G6) و شیراز (ناحیه G4) در سایر نواحی باعث بهبود آماره NSE گردیده است. اصلاح اریبی در رشت (ناحیه G8) تأثیر قابل توجهی نداشته و حتی تابع DIST باعث افزایش خطا در این ناحیه شده است. نتایج آماره KGE بجز در ایستگاه‌های مشهد (ناحیه G2)، شیراز (ناحیه G4) و سنندج (ناحیه G5) در سایر نواحی بهبود کیفی داده‌ها را نشان می‌دهد که بیشترین تأثیر مثبت در رشت (ناحیه G8) و گرگان (ناحیه G6) و یزد (ناحیه G1) اتفاق افتاده است.

در ایستگاه تبریز (ناحیه G3) تابع PTF و در ایستگاه گرگان (ناحیه G6) تابع DIST و در سایر ایستگاه‌ها تابع RQUANT بالاترین رتبه بهبود کیفی را در بین پنج تابع به کارگرفته شده برای اصلاح اریبی با

## ۵- مراجع

- Abbasian M, Moghim S, and Abrishamchi A (2019) Performance of the general circulation models in simulating temperature and precipitation over Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 135(3-4):1465-1483
- Ali S, Eum H Il, Cho J, Dan L, Khan F, Dairaku K, Shrestha ML, Hwang S, Nasim W, Khan IA, and Fahad S (2019) Assessment of climate extremes in future projections downscaled by multiple statistical downscaling methods over Pakistan. *Atmospheric Research* 222:114-133
- Alizadeh O and Najafi MS (2017) Trends and changes in air temperature and precipitation over different regions of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics* 43
- Aminyavari S and Saghafian B (2019) Probabilistic streamflow forecast based on spatial post-processing of TIGGE precipitation forecasts. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, Springer Berlin Heidelberg 33(11-12):1939-1950
- Bao Y and Wen X (2017) Projection of China's near- and long-term climate in a new high-resolution daily downscaled dataset NEX-GDDP. *Journal of Meteorological Research* 31(1):236-249
- Bokhari SAA, Burhan A, Jahangir A, Shakeel A, Mushtaq H, and Rasul G (2018) Future Climate change projections of the Kabul River Basin using a multi-model ensemble of high-resolution statistically downscaled data. *Earth Systems and Environment*, Springer International Publishing 2(3):477-497
- Cannon AJ, Sobie SR, and Murdock TQ (2015) Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes?. *Journal of Climate* 28(17):6938-6959
- Chen H-P, Sun J-Q, and Li H-X (2017) Future changes in precipitation extremes over China using the NEX-GDDP high-resolution daily downscaled data-set. *Atmospheric and Oceanic Science Letters* 10(6):403-410
- Chen H and Sun J (2015) Assessing model performance of climate extremes in China: An intercomparison between CMIP5 and CMIP3. *Climatic Change* 129(1-2):197-211
- Das L, Dutta M, Mezghani A, and Benestad RE (2018) Use of observed temperature statistics in ranking CMIP5 model performance over the Western Himalayan Region of India. *International Journal of Climatology* 38(2):554-570
- Dyer E, Washington R, and Teferi Taye M (2020) Evaluating the CMIP5 ensemble in Ethiopia: Creating a reduced ensemble for rainfall and temperature in Northwest Ethiopia and the Awash basin. *International Journal of Climatology* 40(6):2964-2985
- Fang GH, Yang J, Chen YN, and Zammit C (2015) Comparing bias correction methods in downscaling meteorological variables for a hydrologic impact study in an arid area in China. *Hydrology and Earth System Sciences* 19(6):2547-2559
- Fang M and Li X (2016) Application of Bayesian model averaging in the reconstruction of past climate change using pmip3/cmip5 multimodel ensemble simulations. *Journal of Climate* 29(1):175-189
- Ghalami V, Saghafian B, and Raziei T (2021) Trend analysis of evapotranspiration over Iran based on NEX-GDDP high-resolution dataset. *International Journal of Climatology* 41(S1):E2073-E2096
- Ghozat A, Sharafati A, and Hosseini SA (2020) Long-term spatiotemporal evaluation of CHIRPS satellite precipitation product over different climatic regions of Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 143(1):211-225
- Gudmundsson L (2016) Statistical transformations for post-processing climate model output. Available at: <https://cran.rproject.org/web/packages/qmap/>.
- Gupta HV, Sorooshian S, and Yapo PO (1999) Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering* 4(2):135-143
- Gupta H V., Kling H, Yilmaz KK, and Martinez GF (2009) Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology, Elsevier B.V.* 377(1-2):80-91
- Hashino T, Bradley AA, and Schwartz SS (2007) Evaluation of bias-correction methods for ensemble streamflow volume forecasts. *Hydrology and Earth System Sciences* 11(2):939-950
- Hayes M, Svoboda M, Wall N, and Widhalm M (2011) The lincoln declaration on drought indices: Universal meteorological drought index recommended. *Bulletin of the American Meteorological Society* 92(4):485-488
- Jain S, Salunke P, Mishra SK, Sahany S, and Choudhary N (2019) Advantage of NEX-GDDP over CMIP5 and CORDEX Data: Indian Summer Monsoon. *Atmospheric Research, Elsevier* 228:152-160

- Jakob Themeßl M, Gobiet A, and Leuprecht A (2011) Empirical-statistical downscaling and error correction of daily precipitation from regional climate models. *International Journal of Climatology* 31(10):1530–1544
- Kolachian R, Saghafian B, and Moazami S (2021) Evaluation of post-processing and bias correction of monthly precipitation and temperature forecasts in Karun Basin. *Iran-Water Resources Research* 16(4):98-111
- Legates DR and McCabe GJ (1999) Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research* 35(1):233–241
- Li J, Liu Z, Yao Z, and Wang R (2019) Comprehensive assessment of Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 global climate models using observed temperature and precipitation over mainland Southeast Asia. *International Journal of Climatology* 39(10):4139–4153
- Lucatero D, Madsen H, Refsgaard JC, Kidmose J, and Jensen KH (2018) Seasonal streamflow forecasts in the Ahlergaard catchment, Denmark: The effect of preprocessing and post-processing on skill and statistical consistency. *Hydrology and Earth System Sciences* 22(7):3601–3617
- Maurer EP and Hidalgo HG (2010) Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: An intercomparison of two statistical downscaling methods. *Hydrology and Earth System Sciences* 12(2):551-563
- McCabe GJ and Markstrom SL (2007) A monthly water-balance model driven by a graphical user interface. Vol. 1088. Reston, VA, USA: US Geological Survey
- Melton F (2015) NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP) 1. Intent of This Document and POC, Guide, 1–8
- Miri M, Raziei T, and Rahimi M (2016) Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCP datasets with observed precipitation in Iran. *Journal of Earth and Space Physics* 42(3):657-672
- Modarres R (2006a) Regional precipitation climates of Iran. *Journal of Hydrology New Zealand* 45(1):13–27
- Modarres R (2006b) Regional precipitation climates of Iran. *Journal of Hydrology New Zealand* 45(1):13–27
- Moriassi DN, Arnold JG, Liew MW Van, Bingner RL, Harmel RD, and Veith TL (2007) Model evaluation guidelines. 50(3):885–900
- Nash JE and Sutcliffe J V (1970) River flow forecasting through conceptual models Part I-A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10(3):282–290
- Nasrabadi E, Masoodian SA, and Asakereh H (2013) Comparison of gridded precipitation time series data in APHRODITE and Asfazari Databases within Iran’s territory. *Atmospheric and Climate Sciences* 3(2):235–248
- Raziei T, Daryabari J, Bordi I, Modarres R, and Pereira LS (2014) Spatial patterns and temporal trends of daily precipitation indices in Iran. *Climatic Change* 124(1–2):239–253
- Raziei T, Saghafian B, and Paulo A (2009) Spatial patterns and temporal variability of drought in Western Iran. *Water Resources Management* 23(3):439–455
- Raziei T and Sotoudeh F (2017) Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of Earth and Space Physics* 43(1):133-147
- Saghafian B and Mehdikhani H (2014) Drought characterization using a new copula-based trivariate approach. *Natural Hazards* 72(3):1391-1407
- Salman SA, Shahid S, Ismail T, Ahmed K, and Wang XJ (2018) Selection of climate models for projection of spatiotemporal changes in temperature of Iraq with uncertainties. *Atmospheric Research* 213:509-522
- Samakosh JM, Miri M, and Porkamar3 F (2017) Assessment of CMIP5 climate models with observed precipitation in Iran. *Iranian Journal of Geophysics* 11(4):40-53
- Sheffield J, Camargo SJ, Fu R, Hu Q, Jiang X, Johnson N, Karnauskas KB, Kim ST, Kinter J, Kumar S, ... Zhao M (2013) North American climate in CMIP5 experiments. Part II: Evaluation of historical simulations of intraseasonal to decadal variability. *Journal of Climate* 26(23):9247–9290
- Taylor KE, Stouffer RJ, and Meehl GA (2012) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bulletin of the American Meteorological Society* 93(4):485–498
- Thrasher B, Maurer EP, McKellar C, and Duffy PB (2012) Technical note: Bias correcting climate model simulated daily temperature extremes with quantile mapping. *Hydrology and Earth System Sciences* 16(9):3309–3314
- Trasher B (2013) Downscaled climate projections suitable for resource management. *American Geophysical Union* 66(37):1–8

Wood AW, Leung LR, Sridhar V, and Lettenmaier DP (2004) Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change* 62(1):189-216

Zhao T, Bennett JC, Wang QJ, Schepen A, Wood AW, Robertson DE, and Ramos MH (2017) How suitable is quantile mapping for postprocessing GCM precipitation forecasts? *Journal of Climate* 30(9):3185–3196