

Evaluation of the efficiency of REMO regional climate model and CanESM2 general circulation model in predicting climatic parameters (Case study: Isfahan province)

Ali Salimi¹, Tayyeb Mesbahzadeh^{2*}, Arash Malekian² and Maryam Mirakbari³

1- Graduated of Desert Management, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

2- Associate Professor, Department of Rehabilitation of Dry and Mountainous regions, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

3- Postdoctoral researcher, Faculty of Geographical Sciences and Planning, University of Isfahan

* Corresponding author: tmesbah@ut.ac.ir

(Received: 02 June 2022

Revise: 10 July 2022

Accepted: 11 July 2022)

Extended Abstract

Introduction: The increase in greenhouse gases in recent decades and the resulting increase in temperature have upset the balance of the Earth's climate system and caused widespread climate change in most parts of the world. According to the definition of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2013), climate change is a change in the state of a climate in which its mean or changeable characteristics change for decades or longer. Therefore, forecasting climate variables in the future is necessary to consider measures to reduce the effects of climate change. Climate models are good tools for assessing the climate in the future. These models simulate climatic parameters in the future by different scenarios of radiation induction. Selecting an appropriate climate model is essential for predicting and simulating climate data in the future, as well as evaluating changes in climate parameters in the future. An overview of studies conducted on the application of climate change models in the country indicates that in most studies, the application of atmospheric circulation models has been studied and regional models have been evaluated less. Therefore, in this study, two models of general circulation of atmosphere and region in Isfahan province are compared.

Materials and methods: Isfahan province, with an area of 107018 square kilometers, is located between 30 degrees and 43 minutes to 34 degrees and 37 minutes north latitude of the equator and 49 degrees and 38 minutes to 55 degrees and 32 minutes east longitude of the Greenwich meridian. The climate of Isfahan province is generally temperate and dry. In this research, daily observational data including rainfall, average temperature and average wind speed from the Meteorological Organization, data predicted by REMO model in the base period 1991-2005 and the future period 2020-2100 for the parameters of rainfall, average temperature and wind speed from the base CORDEX data and three types of inputs were used to model climate variables by CanESM2 model. These inputs include daily precipitation data, mean temperature and mean wind speed of the synoptic station, open atmosphere analysis data (NCEP) and CanESM2 model data. To evaluate the efficiency of the models in the study area, the observational data and the data predicted by the models in the common statistical period by the statistical criteria of Percentage coefficient (PBIAS), Nash-Sutcliffe coefficient (NSE), standard ratio root (RSR), explanation coefficient (R^2) and square error (RMSE) were assessed. Also, in order to better evaluate the performance of the models, the data simulated by the models were compared with the observational data by months.

Results and Discussion: The results of this study for the REMO regional climate model showed that this model is not suitable for simulating the rainfall parameter in Isfahan, Airport, Kashan and Golpayegan stations, nor is it suitable for simulating the average temperature parameter in Isfahan, Golpayegan, Nain and Kashan stations. In these stations, on average, the values simulated by the model for the precipitation parameter are more than the observational values and for the average temperature parameter are less than the observational values. In other studied stations, the values simulated by the model for rainfall parameters and average temperature have an acceptable agreement with the observational data. Also, the correlation of the simulated values of the model with the observational data for the wind parameter indicates that this model is not suitable for predicting wind data in the study area and the values simulated by the model are on average higher than the observational data in the period. The results of the CanESM2 atmospheric circulation model showed that the SDSM model has a high efficiency for modeling and exponential microscale in the study area. The results also showed that this model has a high efficiency for simulating the parameters of average temperature and wind speed relative to rainfall in the study area, which can be due to the presence of zero values in the data series. The results of rainfall parameter statistical criteria showed that the CanESM2 model in Daran, Isfahan, Khor and Biabank, Nain and Natanz stations is suitable for simulating rainfall in the future. Also, the results of the statistical criteria and simulated data of the model in the joint period for temperature and wind parameters showed high agreement with the observational data.

Conclusion: Climate models are appropriate tools for assessing the climate in the future. In this study, the efficiency of REMO regional climate models and the general CanESM2 atmospheric model were investigated. The results showed that the REMO climate model does not have the appropriate efficiency to simulate rainfall, average and wind speed in the study area, but CanESM climate model has high efficiency to simulate average and wind speed in the region. It can therefore be used as a suitable model for forecasting future climate in the study area.

Keywords: Climate Change, Regional Climate Model, Climate Public Atmospheric Climate Model, CanESM2, REMO

Citation: Salimi, A., Mesbahzadeh, T., Malekian, A., & Mirakbari, M. (2022). Evaluation of the efficiency of REMO regional climate model and CanESM2 general circulation model in predicting climatic parameters (Case study: Isfahan province). *Integrated Watershed Management*, 2(2), 1-15. doi: 10.22034/iwm.2022.554926.1033

Copyrights:

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





ارزیابی کارایی مدل اقلیمی منطقه‌ای REMO و مدل گردش عمومی جو CanESM2 در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: استان اصفهان)

علی سلیمی^۱، طیبه مصباح‌زاده^{۲*}، آرش ملکیان^۲، مریم میراکبری^۳

۱- دانش‌آموخته مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

۳- پژوهشگر پسادکتری، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان

*نویسنده مسئول: tmesbah@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۰

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۲

چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای در چند دهه اخیر و افزایش دمای ناشی از آن باعث برهم خوردن تعادل سیستم اقلیمی کره زمین گردیده و تغییرات اقلیمی گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب شده است. ایران جزو کشورهایی است که ضریب تأثیرپذیری آن از تغییرات اقلیمی بالاست. امروزه، مدل‌های اقلیمی یکی از متداول‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده می‌باشند. در این مطالعه کارایی مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای REMO و مدل گردش عمومی جو CanESM2 در استان اصفهان بررسی گردید. بدین صورت که داده‌های مدل اقلیمی منطقه‌ای REMO و داده‌های مدل گردش عمومی جو CanESM2 با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌ها توسط معیارهای آماری درصد ضریب اریبی (PBIAS)، ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)، جذر نسبت استاندارد (RSR)، ضریب تبیین (R^2) و مجذور مربعات خطا (NRMSE) مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل REMO برای پیش‌بینی پارامتر بارندگی در ایستگاه‌های اردستان، داران، کبوترآباد، نائین، نطنز و شهرضا همچنین برای پارامتر دما در ایستگاه‌های داران، کبوترآباد، خور، فرودگاه، نطنز و شهرضا کارایی قابل قبول و در سایر ایستگاه‌ها دارای کارایی غیرقابل قبول می‌باشد. همچنین برای پارامتر باد در تمامی ایستگاه‌ها کارایی غیرقابل قبول می‌باشد. نتایج مدل اقلیمی CanESM2 نشان داد که ایستگاه‌های داران، اصفهان، خور، نائین و نطنز جهت شبیه‌سازی مقادیر بارندگی در آینده مناسب می‌باشد. همچنین نتایج برای پارامترهای دما و باد تطابق بالایی را با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد و می‌تواند جهت شبیه‌سازی در دوره آینده استفاده گردد. به طور کلی نتایج تحقیق نشان داد که مدل CanESM2 از کارایی بالایی برخوردار است و می‌تواند به عنوان مدلی مناسب جهت پیش‌بینی اقلیم در دوره آینده در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: معیارهای آماری، ضریب تأثیرپذیری، ضریب تبیین (R^2)، درصد ضریب اریبی (PBIAS)، ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)

استناد: سلیمی، علی، مصباح‌زاده، طیبه، ملکیان، آرش، میراکبری، مریم. (۱۴۰۱). ارزیابی کارایی مدل اقلیمی منطقه‌ای REMO و مدل گردش عمومی جو CanESM2 در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: استان اصفهان). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۲(۲)، ۱-۱۵.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این مجله به صورت آزاد در وبسایت مجله برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل دسترس است.

مقدمه

امروزه تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن خصوصاً گرم شدن کره زمین، به عنوان بزرگترین معضل قرن بیست و یکم مطرح است، به طوری که طی چند سال اخیر همواره یکی از محورهای اصلی سران کشورهای صنعتی مسئله تغییر اقلیم بوده است (Andersen et al., 2006). بر اساس تعریف هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC¹, 2013)، تغییر اقلیم مربوط به تغییر حالتی از اقلیم است که در آن میانگین یا خصوصیات قابل تغییر آن برای مدت چند دهه یا طولانی‌تر دچار تغییر می‌شود. طبق گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم دمای کره زمین ۰/۸۵ درجه از سال ۱۸۸۰ تا ۲۰۱۲ افزایش یافته است (IPCC, 2013). طبق پیش‌بینی‌های گزارش پنجم IPCC، افزایش دمای سطح زمین در پایان قرن ۲۱، بیش از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ برای اکثر سناریوها است و احتمالاً برای بسیاری از سناریوها ۲ درجه سانتی‌گراد خواهد بود (Moss et al., 2010). فرآیند تغییر اقلیم به ویژه تغییرات دما و بارش مهمترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشد. این پدیده به دلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی و اقتصادی-اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است، چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می‌نمایند (Xu & Xu, 2012). از این رو پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره آینده برای در نظر گرفتن اقداماتی جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم امری ضروری می‌باشد.

مدل‌های اقلیمی ابزارهای مناسبی جهت ارزیابی اقلیم در دوره آینده می‌باشند. این مدل‌ها توسط سناریوهای مختلف واداشت تابشی پارامترهای اقلیمی در دوره آینده را شبیه‌سازی می‌کنند (Miao et al., 2013). یکی از متداول‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو (GCM²) می‌باشد. مدل‌های گردش عمومی جو از سال ۱۹۵۰ توسط مؤسسات تحقیقاتی مختلف آب و هوایی برای پیش‌بینی آب و هوا آینده در کل جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Aghakhani et al., 2016, Hoshyar et al., 2018)؛ اما ضعف عمده این مدل‌ها، قدرت تفکیک مکانی کم و ساده‌سازی‌هایی است که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند. برای فائق آمدن به ضعف قدرت تفکیک پایین لازم

است خروجی این مدل‌ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، ریزمقیاس شوند.

روش‌های ریزمقیاس‌نمایی معمولاً به دو دسته آماری و دینامیکی تقسیم می‌شوند (Abassi et al., 2010). روش آماری به متغیرهای کمتری نسبت به سایر روش‌ها احتیاج داشته و به همین دلیل در کاربردهای علوم آب بسیار مورد توجه قرار گرفته است (Alizadeh et al., 2010). در روش آماری ریزمقیاس‌نمایی، ارتباط تجربی/آماری بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس و محلی برقرار می‌شود. این روش‌ها سریع‌تر و به شدت محاسباتی هستند. با استفاده از روش‌های آماری متغیرهای اقلیمی در مقیاس جهانی همانند میانگین فشار سطح دریا، باد ناحیه‌ای، دما، ارتفاع ژئوپتانسیل و... با متغیرهای مقیاس محلی/منطقه‌ای جفت می‌شوند (Wetterhall et al., 2006). اساس روش‌های آماری بر پایه روابط رگرسیونی می‌باشد. از بین روش‌های آماری ریزمقیاس‌نمایی، SDSM تاکنون به‌طور گسترده‌ای جهت ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای اقلیمی، در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Huang et al., 2011) که از ترکیب دو روش رگرسیون خطی چندگانه و مولد آب و هوایی آماری استفاده می‌کند (Gebremeskel et al., 2005). با این حال این مدل‌ها در هنگام پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در مقیاس محلی به دلیل وضوح فضایی کم دارای محدودیت‌هایی هستند (Dibaba et al., 2019)؛ بنابراین برنامه تحقیقات جهانی آب و هوا در سال ۲۰۰۹ جهت ارائه یک چهارچوب هماهنگ برای ارزیابی و اصلاح کاهش مقیاس آب و هوا مدل‌های منطقه‌ای را ارائه کرد.

مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای، خروجی مدل‌های جو را با استفاده از روش‌های آماری و برقراری همبستگی آماری بین خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در گذشته با داده‌های دوره آماری ایستگاه هواشناسی واقع در شبکه مدل اقلیمی به نحوی ریزمقیاس می‌نماید که به مقادیر مشاهداتی در مقیاس ایستگاهی شباهت زیادی داشته باشد. در ادامه، برخی از تحقیقاتی که در زمینه تغییر اقلیم انجام شده‌اند بررسی شده است. Gulacha و Mulungu (۲۰۱۷) به منظور ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش جهانی به مقیاس‌های محلی در حوضه رودخانه Wami-Ruvu واقع در جمهوری متحد تانزانیا، از مدل SDSM استفاده کردند. بر اساس نتایج به دست آمده در مرحله اعتبارسنجی، عملکرد مدل برای پیش‌بینی داده‌های دما بهتر از بارش بود. با استفاده از مدل واسنجی شده، داده‌های مدل گردش جهانی در مقیاس

² General Circulation Model

¹ Intergovernmental Panel on Climate Change

مدل HADCM3 توانایی لازم را در تولید داده‌های روزانه دارد. Ghonchepur و همکاران (۲۰۱۹) به کارگیری روش غربالگری کمی در مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) برای ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم در حوضه رودخانه گرگان رود را بررسی کردند. نتایج نشان دهنده کارایی مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های مدل CanESM2 در مقیاس حوضه رودخانه گرگان رود بود. بنابراین، مدل SDSM برای ریزمقیاس‌نمایی متغیرهای یادشده تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 برای سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۱۰۰-۲۰۷۰ استفاده شد. همچنین روند تغییرات یادشده در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۰ بررسی شد. بر اساس نتایج مقدار بارش در هر سه دوره زمانی بررسی شده و تحت هر دو سناریو افزایش می‌یابد. Ebrahimi Khusfi و Mirakbari (۲۰۲۱) در تحقیقی به ارزیابی کارایی مدل گردش عمومی CanESM2 و مدل منطقه‌ای REMO به منظور پیش‌بینی تغییرات ویژگی‌های اقلیمی در آبخیز جازموریان پرداختند. نتایج نشان داد که مدل CanESM2 عملکرد بهتری از مدل منطقه‌ای REMO برای پیش‌بینی ویژگی‌های اقلیمی دارد. Zakeri Anaraki و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی شبیه‌سازی مؤلفه‌های اقلیمی دمای حداکثر و حداقل با استفاده از خروجی مدل CanESM2 در دوره‌های آبی در دشت میمه استان اصفهان پرداختند. نتایج آنها نشان از توانایی بالای مدل SDSM در مدل‌سازی دمای حداکثر و حداقل در دوره پایه می‌باشند. مطالعات صورت گرفته نشان از افزایش دمای اتمسفر دارد که باعث کاهش مقدار بارندگی و وقوع خشکسالی‌های طولانی به خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک می‌شود. همچنین افزایش روزافزون گازهای گلخانه‌ای در طی قرن ۲۱ اثرات تغییر اقلیم را تشدید خواهد کرد. انتخاب مدل اقلیمی مناسب جهت پیش‌بینی و شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در دوره آینده و همچنین ارزیابی تغییرات پارامترهای اقلیمی در دوره آبی جهت جلوگیری از پیامدهای سوء اقلیمی امری ضروری می‌باشد. بررسی اجمالی مطالعات انجام شده در زمینه کاربرد مدل‌های تغییر اقلیم در کشور حاکی از آن است که در اکثر مطالعات به کاربرد مدل‌های گردش عمومی جو پرداخته شده است و مدل‌های منطقه‌ای کمتر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. همچنان که اشاره شد اکثر مطالعات به ارزیابی جداگانه مدل‌ها پرداخته‌اند و مطالعات اندکی در رابطه با ارزیابی کارایی دو مدل منطقه‌ای و گردش عمومی جو به طور هم‌زمان صورت گرفته است. لذا در این مطالعه به مقایسه دو مدل گردش عمومی جو و منطقه‌ای در استان اصفهان پرداخته می‌شود. همچنان که تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه در استان اصفهان انجام نشده است.

محلی ریزمقیاس شدند. Almazroui و همکاران (۲۰۱۷) عدم قطعیت تغییرات دما و بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گزارش ارزیابی پنجم تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 را در عربستان بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد بارندگی در برخی از نقاط عربستان روند افزایشی و در برخی دیگر روند کاهشی خواهد داشت در حالی که دما در کل منطقه روند افزایشی دارد. Secci و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر خشکسالی آب‌های زیرزمینی در شمال توسکانی (ایتالیا) پرداختند و دریافتند که با استفاده از روابط SGI-SPI انتظار تغییرات جزئی در دسترسی به آب‌های زیرزمینی در آینده وجود دارد. با این حال، در یک سناریوی گرمایش جهانی، تأثیر دما بر پدیده‌های تبخیر و تعرق را نمی‌توان نادیده گرفت و به همین دلیل روابط SGI-SPEI برای پیش‌بینی خشکسالی آب‌های زیرزمینی مناسب‌تر به نظر می‌رسد. با توجه به این روابط، اثرات منفی بر سطح آب‌های زیرزمینی تقریباً در تمام چاه‌ها برای آینده برآورد می‌شود. برای سناریوی RCP 4.5، بیشترین کاهش در سطح آب‌های زیرزمینی در بازه زمانی میان مدت انتظار می‌رود، در حالی که برای سناریوی RCP 8.5، سطح آب زیرزمینی به طور قابل توجهی در آینده بلندمدت کاهش خواهد یافت.

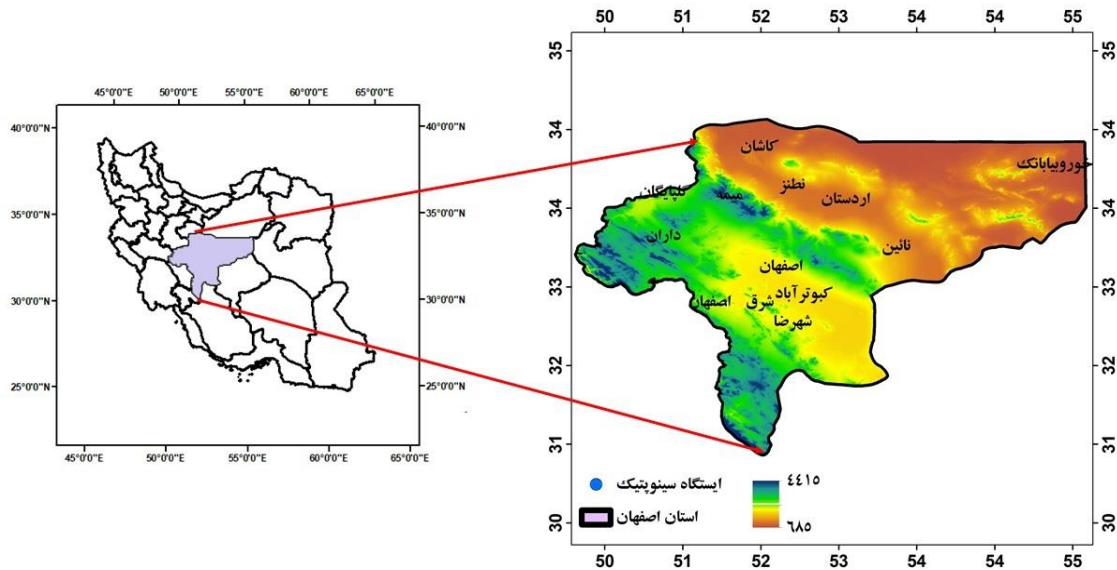
Zhuo و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی تغییرات پتانسیل انرژی بادی بر روی چین با استفاده از یک مجموعه مدل آب و هوای منطقه‌ای پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر مدل‌ها می‌توانند الگوهای مکانی-زمانی را بازتولید کنند و شبیه‌سازی منطقه شرقی بهتر از منطقه غربی است. علاوه بر این اکثر مدل‌های با وضوح بالا عملکرد بهتری برای شبیه‌سازی الگوهای مکانی-زمانی و تغییرات سالانه داشتند. کاهش سرعت باد در آینده توسط اکثر RCM ها بر روی چین پیش‌بینی می‌شود، اگرچه برخی از مناطق، مانند بخش‌های جنوبی چین، پتانسیل انرژی بادی بیشتری دارند. همچنین درصد تغییرات میانگین سالانه سرعت باد در محدوده ± 4 درصد باقی خواهد ماند. Yosefi و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی به بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک کرج پرداختند. نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل رگرسیون خطی چندمتغیره نشان داد توانایی این مدل در شبیه‌سازی بارندگی و دما ایستگاه کرج نسبتاً قابل‌قبول و با داده‌های مشاهداتی مطابقت دارد. Jahangir و همکاران (۲۰۱۸) روند تغییرات پارامترهای اقلیمی شهرستان بروجرد در ۲۰ سال آبی را با استفاده از مدل HADCM3 بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان با مساحت ۱۰۷۰۱۸ کیلومترمربع، بین ۳۰ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۳۷ دقیقه عرض شمالی خط استوا و ۴۹ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. آب‌وهوای استان اصفهان

به‌طور کلی معتدل و خشک است. متوسط میزان بارندگی سالانه آن ۱۱۶/۹ میلی‌متر، حداکثر درجه حرارت ۴۰/۶ درجه سانتی‌گراد، حداقل درجه حرارت ۱۰/۶- درجه سانتی‌گراد ثبت شده است. بادهایی که در استان اصفهان می‌وزند، عموماً بادهای غربی و جنوب غربی‌اند (شکل ۱). جدول ۱ مشخصات آماری پارامترهای اقلیمی ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه
Figure 1- Location of the study area

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در منطقه مورد مطالعه
Table 1- Characteristics of synoptic stations in the study area

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی (درجه)	طول جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
اصفهان	32.5172	51.7063	1550.4
اردستان	33.3555	52.3755	1252.4
داران	32.9666	50.3666	2290
کبوترآباد	32.5166	51.8333	1545
کاشان	33.9669	51.4808	982.3
خور و بیابانک	33.77	55.0816	845
گلپایگان	33.4666	50.2833	1870
نائین	32.8516	53.0786	1549
نطنز	33.5333	51.9	1684.9
شهرضا	31.9816	51.8105	1845.2
فرودگاه اصفهان	32.7441	51.8630	1543

مدل گردش عمومی جو و مدل منطقه‌ای

در این پژوهش داده‌های ریزمقیاس شده پایگاه داده CORDEX و مدل REMO به عنوان مدل منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفتند. در پروژه CORDEX، مراکز مدل‌سازی آب و هوایی در سراسر جهان برای اجرا و شبیه‌سازی با مدل‌های منطقه‌ای آب و هوا در محدوده‌های مشخص، تعیین شدند. پروژه CORDEX توسط برنامه آب و هوای جهانی (WCRP) پشتیبانی می‌شود و به منظور توسعه چارچوبی مؤثر، برای تولید پیش‌بینی‌های آب و هوایی جهت ارزیابی اثرات و مطالعات سازگاری در سراسر جهان، در جدول زمانی IPCC AR5 و فراتر از آن می‌باشد. علاوه بر مدل‌های منطقه‌ای در این مطالعه از نسل دوم مدل کانادایی سیستم زمین یا CanESM2³ که توسط CCCma⁴ ارائه شده است به عنوان مدل گردش عمومی جو (GCM) استفاده گردید. اگرچه مدل‌های GCM برای بررسی پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده مناسب هستند، خروجی آن‌ها بر اساس شبکه‌های بزرگ مقیاس ۲۵۰ تا ۶۰۰ کیلومتری می‌باشند (Gebremeskel *et al.*, 2005). به دلیل تفکیک مکانی بالا خروجی این مدل‌ها برای بررسی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای قابل کاربرد نمی‌باشد. مناسب‌ترین ابزار برای ایجاد ارتباط بین مقیاس منطقه‌ای یا محلی و مدل‌های بزرگ مقیاس GCM ریزمقیاس‌نمایی می‌باشد. همانطور که اشاره شد خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به علت بزرگ مقیاس بودن و یا به بیان دیگر تفکیک مکانی بالا، قابل استفاده در مقیاس منطقه‌ای و یا محلی نمی‌باشند. بدین منظور لازم است رابطه کمی بین متغیرهای بزرگ مقیاس / مدل گردش عمومی جو و متغیرهای مشاهداتی کوچک مقیاس (محلی / منطقه‌ای) ایجاد شود (Wilby *et al.*, 2006). به صورت رابطه (۱) خواهد بود (Dibike & Coulibaly, 2005):

$$Y = f(x) \quad (1)$$

در این رابطه Y متغیر پیش‌بینی کننده، X متغیر پیش‌بینی شونده و f تابع انتقال بوده که به صورت تجربی از داده‌های مشاهداتی به دست می‌آید. در این مطالعه از SDSM5.2 جهت ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارندگی، دما و سرعت باد استفاده شد. SDSM ابزاری است که توسط Wilby و همکاران (۲۰۰۶) جهت ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم منطقه‌ای / محلی با استفاده از تکنیک ریزمقیاس‌نمایی آماری ارائه گردید. این روش دارای چهار بخش اصلی می‌باشد که شامل تعیین متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP، واسنجی مدل، صحت‌سنجی مدل و تولید سناریو و

شبیه‌سازی برای دوره آینده می‌باشد. مدل CanESM2 تنها مدلی است که دارای داده‌های روزانه قابل کاربرد برای SDSM می‌باشد. خروجی‌های این مدل دارای سه سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشد. خروجی‌های مدل CanESM2 برای دوره پایه از ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۵ و دوره آینده از ۲۰۲۰ تا ۲۱۰۰ می‌باشد.

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق داده‌های مشاهداتی روزانه شامل بارندگی، دما متوسط و سرعت متوسط باد از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. جهت صحت‌سنجی مدل اقلیمی منطقه‌ای و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در دوره آینده، داده‌های پیش‌بینی شده توسط مدل REMO در دوره پایه طولانی‌ترین دوره آماری مشترک بین ایستگاه‌های مطالعاتی از نظر داده‌های موجود ۱۹۹۱-۲۰۰۵ و دوره آینده ۲۰۲۰-۲۱۰۰ برای پارامترهای بارندگی، دما متوسط و سرعت باد از پایگاه داده CORDEX دریافت شد. همچنین جهت مدل‌سازی متغیرهای اقلیمی توسط مدل CanESM2 از سه نوع ورودی استفاده شد. این ورودی‌ها شامل داده‌های روزانه بارندگی، دمای متوسط و سرعت متوسط باد ایستگاه سینوپتیک، داده‌های باز تحلیل شده جو (NCEP⁵) و داده‌های مدل CanESM2 می‌باشند. داده‌های روزانه مشاهداتی تحت عنوان پیش‌بینی شونده و داده‌های باز تحلیل شده جو تحت عنوان پیش‌بینی کننده مشاهداتی و داده‌های مدل گردش عمومی جو تحت عنوان پیش‌بینی کننده بزرگ مقیاس نامگذاری می‌شوند. داده‌های پیش‌بینی کننده مشاهداتی و بزرگ مقیاس شامل ۲۶ متغیر هستند که در دو دوره پایه ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ و دوره آینده ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ موجود می‌باشند. در نهایت با توجه به معیارهای آماری کارایی مدل‌های اقلیمی برای سه پارامتر بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد متوسط در ایستگاه‌های مختلف منطقه مورد مطالعه مشخص گردید.

ارزیابی کارایی و تعیین عدم قطعیت مدل‌ها

کارایی مدل‌های اقلیمی توسط معیارهای ارزیابی درصد ضریب اریبی (PBIAS)، ضریب ناش-ساتکلیف (NSE)، جذر نسبت استاندارد (RSR)، ضریب تبیین (R^2) و مجذور مربعات خطا (NRMSE) بررسی می‌شود. درصد ضریب اریبی (PBIAS) در رابطه (۲)، ضریب ناش-ساتکلیف (NSE) در رابطه (۳) و جذر نسبت استاندارد (RSR) در رابطه (۴) ارائه شده است. رابطه

⁴ Canadian Center for Climate Modeling and Analysis

⁵ National Center for Environmental Prediction

³ Canadian Earth System Model (second generation)

مشاهداتی هر یک از ایستگاه‌ها با داده‌های مدل در دوره آماری مشترک، معیارهای آماری ضریب ناش، درصد اریبی، نسبت جذر استاندارد و ضریب تبیین محاسبه شد.

جداول (۲)، (۳) و (۴) نتایج معیارهای آماری مذکور را نشان می‌دهند. نتایج معیارهای آماری نشان داد کارایی مدل REMO برای پارامتر بارندگی در ایستگاه‌های اردستان ($R^2=0.7853$ ، $NSE=0.5965$ ، $RSR=0.6352$)، کبوترآباد ($R^2=0.7646$ ، $NSE=0.5824$ ، $RSR=0.6462$)، نائین ($R^2=0.7852$ ، $NSE=0.6166$ ، $RSR=0.6192$)، نطنز ($R^2=0.8392$ ، $NSE=0.6829$ ، $RSR=0.5631$) و شهرضا ($R^2=0.7263$ ، $NSE=0.5348$ ، $RSR=0.6821$) قابل قبول بوده و ایستگاه‌های اصفهان، داران، کاشان، فرودگاه، گلپایگان و خور غیرقابل قبول می‌باشد (جدول ۲). همچنین نتایج معیارهای آماری جهت کارایی مدل REMO برای پارامتر دما ایستگاه‌های کبوترآباد ($R^2=0.8940$ ، $NSE=0.6305$ ، $RSR=0.6079$)، خور ($R^2=0.9918$ ، $NSE=0.7476$ ، $RSR=0.5033$)، فرودگاه ($R^2=0.9978$ ، $NSE=0.7194$ ، $RSR=0.5297$) و نطنز ($R^2=0.9900$ ، $NSE=0.5580$ ، $RSR=0.6648$) مقادیر قابل قبول و ایستگاه‌های اردستان، داران، اصفهان، گلپایگان، کاشان، شهرضا و نائین مقادیر غیرقابل قبول را نشان داد (جدول ۳).

نتایج معیارهای آماری جهت کارایی مدل REMO برای پارامتر باد در تمامی ایستگاه‌ها مقادیر غیرقابل قبول را نشان داد (جدول ۴). همچنین جهت ارزیابی بهتر کارایی مدل، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی به تفکیک ماه‌های میلادی مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج بررسی پارامترها به صورت ماهانه برای پارامتر بارندگی در ایستگاه‌های اردستان، کبوترآباد، نائین، نطنز و شهرضا تطابق قابل قبول و ایستگاه‌های اصفهان، داران، کاشان، فرودگاه، گلپایگان و خور تطابق غیرقابل قبول می‌باشد.

همچنین نتایج برای پارامتر دما ایستگاه‌های کبوترآباد، خور، فرودگاه و نطنز تطابق قابل قبول و ایستگاه‌های اردستان، داران، اصفهان، گلپایگان، کاشان، نائین و شهرضا مقادیر تطابق غیرقابل قبول را نشان داد. نتایج برای پارامتر باد در تمامی ایستگاه‌ها مقادیر تطابق غیرقابل قبول را نشان داد که با نتایج معیارهای آماری در یک راستا می‌باشد. شکل (۲) نتایج مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی ایستگاه اصفهان و شکل (۳) نتایج مقادیر شبیه‌سازی شده ایستگاه داران را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

(۵) تحت عنوان ضریب تبیین (R^2) شناخته می‌شود. بهترین مقدار آن برابر با یک می‌باشد. همچنین مجذور مربعات خطا (NRMSE) در رابطه (۶) ارائه شده که می‌تواند به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر مشاهداتی به کار رود. بر اساس این معیارها مدلی دارای کارایی مناسب برای بررسی تغییر اقلیم است که دارای ضریب تبیین $R^2 \geq 0.6$ ، درصد ضریب اریبی $\pm 15 \geq PBIAS \geq \pm 25$ ، ضریب ناش-ساتکلیف $NSE \geq 0.5$ و جذر نسبت استاندارد $0.6 \leq RSR$ باشد. در این روابط x_{obs} و y_{model} به ترتیب مقادیر داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده می‌باشد (Aghakhani, Afshar et al., 2016).

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

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})^2}{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2} \quad (3)$$

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

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})(y_{mod} - \bar{y}_{mod})}{\sqrt{(\sum_{t=1}^T (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2)(\sum_{t=1}^T (y_{mod} - \bar{y}_{mod})^2)}} \right]^2 \quad (5)$$

$$NRMSE = \left(\frac{\sqrt{\sum_{t=1}^T (x_{obs} - y_{mod})^2}}{T} \right) / (x_{obs,max} - x_{obs,min}) \quad (6)$$

نتایج

ارزیابی کارایی مدل REMO

به منظور پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی در دوره آینده (۲۰۲۰-۲۱۰۰) با استفاده از مدل اقلیمی منطقه‌ای داده‌های مدل REMO پایگاه داده CORDEX دانلود و مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت ارزیابی داده‌های مدل در محیط GIS این داده‌ها به فرمت اکسل تبدیل گردید. به منظور ارزیابی کارایی و صحت‌سنجی مدل REMO در منطقه مورد مطالعه، داده‌های

جدول ۲- نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل REMO برای پارامتر بارندگی

Table 2- Results of statistical criteria for evaluating the performance of the REMO model for rainfall parameter

	PBIAS	NSE	RSR	R²	NRMSE
Ardestan	-0.0156	0.5965	0.6352	0.7853	0.0626
Daran	0.1317	0.7537	0.4962	0.9575	0.0495
Esfahan	0.0550	0.0128	0.9936	0.2957	0.1020
Golpayegan	0.3745	0.3125	0.8291	0.7652	0.0839
Kabutar abad	-0.0193	0.5824	0.6462	0.7646	0.0616
Kashan	-0.4770	0.3143	0.8281	0.8846	0.0929
Khur	0.4342	0.3229	0.8229	0.7728	0.0923
Naein	-0.1269	0.6166	0.6192	0.7852	0.0645
Natanz	0.1071	0.6829	0.5631	0.8392	0.0525
Shahreza	-0.0387	0.5348	0.6821	0.7263	0.0743
Forudgah	-0.0374	0.4439	0.7457	0.6799	0.0768

جدول ۳- نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل REMO برای پارامتر دما

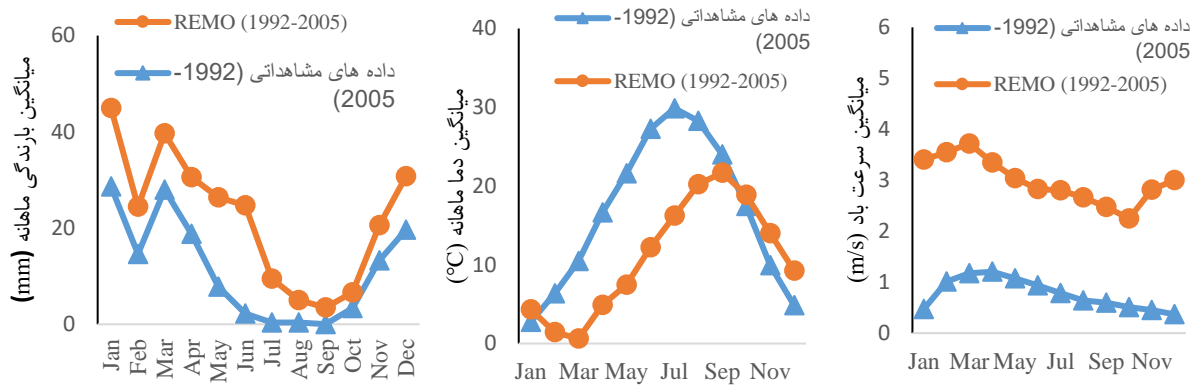
Table 3- Results of statistical criteria for evaluating the performance of the REMO model for the temperature parameter

	PBIAS	NSE	RSR	R²	NRMSE
Ardestan	0.3238	0.5051	0.7035	0.9930	0.0715
Daran	0.3388	0.8005	0.4467	0.9948	0.0441
Esfahan	0.2654	-0.2569	1.1211	0.2329	0.1341
Golpayegan	0.4339	0.4557	0.7378	0.9965	0.0730
Kabutar abad	0.2721	0.6305	0.6079	0.8940	0.0635
Kashan	0.4580	0.1491	0.9224	0.9973	0.0930
Khur	0.2211	0.7476	0.5033	0.9918	0.0508
Naein	0.3558	0.4380	0.7496	0.9913	0.0657
Natanz	0.3582	0.5580	0.6648	0.9900	0.0675
Shahreza	0.3899	0.4756	0.7241	0.9979	0.0720
Forudgah	0.2954	0.7194	0.5297	0.9978	0.0521

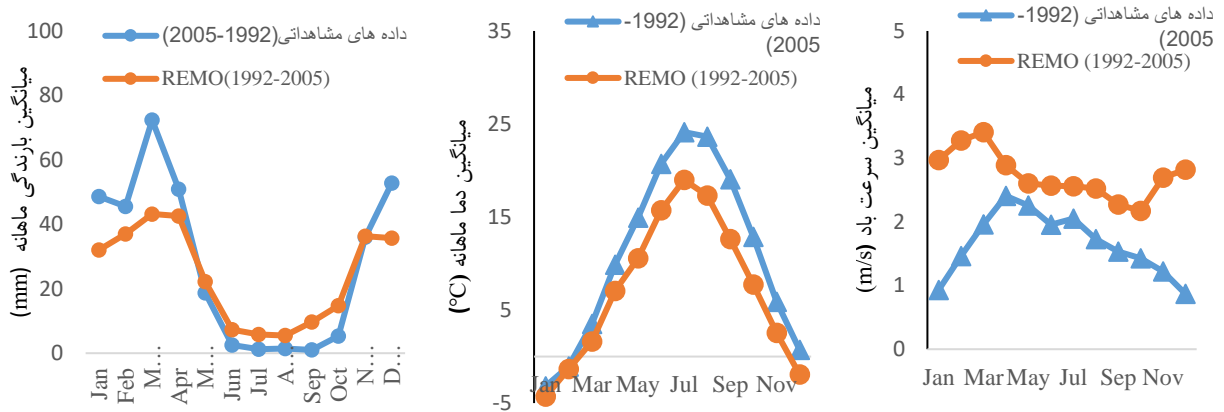
جدول ۴- نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل REMO برای پارامتر باد

Table 4- Results of statistical criteria for evaluating the performance of the REMO model for wind parameter

	PBIAS	NSE	RSR	R²	NRMSE
Ardestan	0.3805	-1.4577	1.5677	0.4801	0.1490
Daran	-0.6545	-5.7444	2.5970	-0.0164	0.2313
Esfahan	-2.6001	-74.1173	8.6670	0.1722	1.1108
Golpayegan	-0.3388	-1.8499	1.6882	0.0465	0.1423
Kabutar abad	-1.0645	-5.8098	2.6096	0.7635	0.2883
Kashan	-4.0235	-56.9469	7.6123	0.4626	0.6996
Khur	-0.9162	-4.4681	2.3384	0.8715	0.2272
Naein	0.0834	0.2660	0.8568	0.6905	0.0933
Natanz	-0.3662	-1.3644	1.5377	0.7244	0.1400
Shahreza	-0.1438	0.0343	0.9827	0.5402	0.1047
Forudgah	-0.1657	-0.4972	1.2236	0.3299	0.1144



شکل ۲- مقایسه مقادیر مدل REMO و داده‌های مشاهداتی بارندگی، دما و سرعت باد در ایستگاه اصفهان
Figure 2- Comparison of REMO model values and observational data of rainfall, temperature and wind speed at Isfahan station



شکل ۳- مقایسه مقادیر مدل REMO و داده‌های مشاهداتی بارندگی، دما و سرعت باد در ایستگاه داران
Figure 3- Comparison of REMO model values and observational data of rainfall, temperature and wind speed in station owners

ارزیابی کارایی مدل CanESM2

نظریه (NSE=0.8341, RSR=0.5073, $R^2=0.9158$)، از نظر معیارهای آماری قابل قبول می‌باشد و بقیه ایستگاه‌های مطالعاتی غیرقابل قبول می‌باشد. همچنین نتایج حاصل برای پارامتر بارندگی بر اساس داده‌های تاریخی مدل CanESM2 نشان داد که ایستگاه‌های اردستان ($R^2=0.9612$)، داران ($R^2=0.9879$)، اصفهان ($R^2=0.7666$)، گلیپایگان ($R^2=0.7650$)، کاشان ($R^2=0.5822$)، خور و بیابانک ($R^2=0.8415$)، نائین ($R^2=0.8598$)،

به‌منظور ارزیابی کارایی مدل CanESM2 در هر یک از ایستگاه‌های مطالعاتی در دوره آماری مشترک ۱۹۹۲-۲۰۰۵ مقادیر ریزمقیاس شده پارامترهای بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد توسط متغیرهای پیش‌بینی کننده مشاهداتی (NCEP) و بزرگ مقیاس (مدل CanESM2) معیارهای آماری ضریب ناش، درصد اریبی، نسبت جذر استاندارد و ضریب تبیین محاسبه شد. نتایج حاصل برای پارامتر بارندگی بر اساس داده‌های NCEP نشان داد که ایستگاه‌های داران اصفهان ($R^2=0.9627$)، خور و بیابانک ($R^2=0.8779$)، نائین ($R^2=0.8322$)،

و متغیر مدل CanESM2 نشان داد که تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی از نظر معیارهای آماری قابل قبول می‌باشد (جدول ۶). همچنین پارامتر باد نیز بر اساس متغیر NCEP و متغیر مدل CanESM2 در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی از نظر معیارهای آماری قابل قبول می‌باشد (جدول ۷). نتایج معیارهای آماری حاصل از پارامترهای بارندگی، دما و باد در ایستگاه‌های داران، اصفهان، خور و بیابانک، نائین و نطنز قابل قبول می‌باشد.

نطنز ($R^2=0.9111$, $RSR=0.6786$, $NSE=0.5396$) و فرودگاه ($R^2=0.8607$, $RSR=0.6466$, $NSE=0.5820$)، از نظر معیارهای آماری قابل قبول می‌باشد و ایستگاه‌های کبوترآباد و شهرضا غیر قابل قبول می‌باشد (جدول ۵). با توجه به نتایج معیارهای آماری پارامتر بارندگی متغیرهای NCEP و مدل CanESM2 ایستگاه‌های داران، اصفهان، خور و بیابانک، نائین و نطنز جهت شبیه‌سازی مقادیر بارندگی در آینده مناسب می‌باشد. نتایج حاصل برای پارامتر دما بر اساس متغیر NCEP

جدول ۵- نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل CanESM2 برای پارامتر بارندگی

Table 5- Results of statistical evaluation criteria of CanESM2 model for rainfall parameter

ایستگاه	پیش‌بینی کننده	PBIAS	NSE	RSR	R^2	NRMSE
اردستان	NCEP	-0.0348	0.4896	0.7145	0.7137	0.0704
	CanESM2	-0.2271	0.7666	0.4831	0.9612	0.0476
داران	NCEP	0.1054	0.8999	0.5163	0.9627	0.0316
	CanESM2	0.1487	0.9115	0.4974	0.9879	0.0297
اصفهان	NCEP	0.0794	0.8299	0.4924	0.6730	0.0500
	CanESM2	-0.1821	0.6611	0.5822	0.7650	0.0706
گلپایگان	NCEP	0.1940	0.3576	0.8015	0.7377	0.0811
	CanESM2	0.1098	0.5848	0.6444	0.8561	0.0652
کبوترآباد	NCEP	0.0590	0.2194	0.8835	0.5018	0.0842
	CanESM2	0.0739	0.2877	0.8440	0.4452	0.0804
کاشان	NCEP	0.2423	0.4526	0.7399	0.7570	0.0830
	CanESM2	-0.0337	0.5657	0.6590	0.7536	0.0739
خور و بیابانک	NCEP	0.3817	0.5385	0.6793	0.8779	0.0762
	CanESM2	-0.0227	0.7049	0.5433	0.8415	0.0610
نائین	NCEP	0.0491	0.8537	0.4825	0.8322	0.0399
	CanESM2	-0.0863	0.8255	0.4978	0.8598	0.0435
نطنز	NCEP	0.0578	0.8341	0.5073	0.9158	0.0380
	CanESM2	0.1479	0.5396	0.6786	0.9111	0.0633
شهرضا	NCEP	0.3807	0.1394	0.9277	0.4703	0.1011
	CanESM2	-0.0020	0.4248	0.7585	0.4974	0.0827
فرودگاه	NCEP	-0.3530	-1.0284	1.4242	0.5666	0.1465
	CanESM2	-0.1885	0.5820	0.6466	0.8607	0.0665

بقیه ایستگاه‌های مطالعاتی تطابق خوبی نشان نمی‌دهد. همچنین مقادیر شبیه‌سازی شده پارامترهای دما و باد در تمامی ایستگاه‌ها مطالعاتی تطابق خوبی را با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد.

همچنین جهت ارزیابی بهتر کارایی مدل CanESM2، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل با داده‌های مشاهداتی به تفکیک ماه‌های میلادی مورد مقایسه قرار گرفت. مقادیر شبیه‌سازی پارامتر بارندگی در ایستگاه‌های داران، اصفهان، خور و بیابانک، نائین و نطنز تطابق خوبی را با داده مشاهداتی نشان می‌دهد و

جدول ۶- نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل CanESM2 برای پارامتر دما

Table 6- Results of statistical evaluation criteria of CanESM2 model for temperature parameter

NRMSE	R ²	RSR	NSE	PBIAS	پیش‌بینی کننده	ایستگاه
0.0020	0.9998	0.0193	0.9996	0.0014	NCEP	اردستان
0.0017	0.9999	0.0169	0.9997	0.0015	CanESM2	
0.0013	0.9999	0.0136	0.9998	0.0035	NCEP	داران
0.0008	1.000	0.0086	0.9999	-0.0045	CanESM2	
0.0017	0.7408	0.0142	0.9998	-0.0007	NCEP	اصفهان
0.0013	0.7389	0.0109	0.9999	-0.0008	CanESM2	
0.0011	1.0000	0.0108	0.9999	0.0031	NCEP	گلپایگان
0.0010	0.9999	0.0105	0.9999	0.0011	CanESM2	
0.0022	0.8909	0.0209	0.9996	-0.0037	NCEP	کبوترآباد
0.0015	0.8923	0.0143	0.9998	0.0047	CanESM2	
0.0017	0.9999	0.0168	0.9997	0.0003	NCEP	کاشان
0.0020	0.9998	0.0202	0.9996	0.0046	CanESM2	
0.0016	0.9999	0.0156	0.9998	-0.0015	NCEP	خور و بیابانک
0.0014	0.9999	0.0137	0.9998	-0.0031	CanESM2	
0.0018	0.7916	0.0173	0.9997	-0.0013	NCEP	نائین
0.0021	0.8027	0.0202	0.9996	0.0001	CanESM2	
0.0021	0.9998	0.0206	0.9996	0.0014	NCEP	نطنز
0.0012	0.9999	0.0122	0.9999	0.0001	CanESM2	
0.0020	0.7966	0.0188	0.9996	-0.0005	NCEP	شهرضا
0.0018	0.8025	0.0174	0.9997	-0.0029	CanESM2	
0.0009	1.0000	0.0097	0.9999	0.0008	NCEP	فرودگاه
0.0018	0.9998	0.0187	0.9997	0.0011	CanESM2	

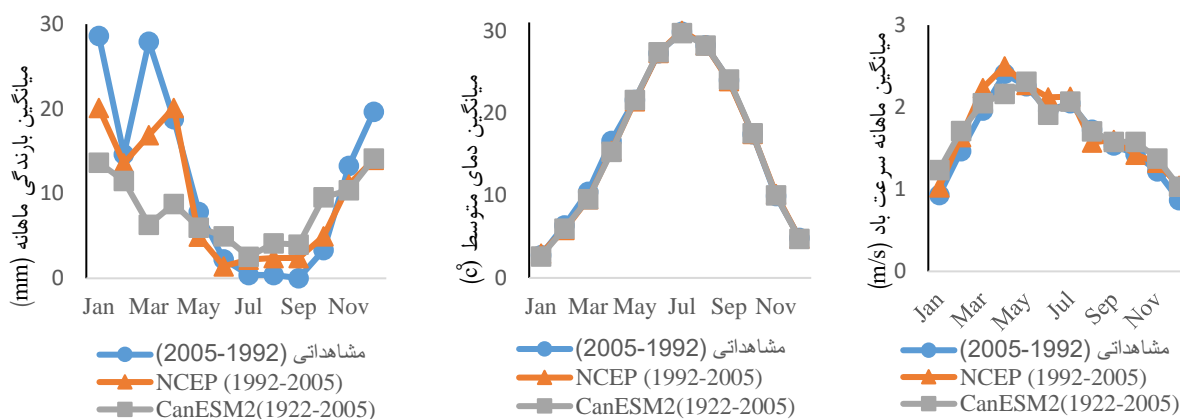
جدول ۷- نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل CanESM2 برای پارامتر باد

Table 7- Results of statistical evaluation criteria of CanESM2 model for wind parameter

NRMSE	R ²	RSR	NSE	PBIAS	پیش‌بینی کننده	ایستگاه
0.0108	0.9961	0.1134	0.9871	-0.0197	NCEP	اردستان
0.0093	0.9968	0.0983	0.9903	0.0171	CanESM2	
0.0256	0.9762	0.2872	0.9175	-0.0537	NCEP	داران
0.0297	0.9741	0.3334	0.8888	-0.0455	CanESM2	
0.0099	0.9976	0.1045	0.9891	-0.0290	NCEP	اصفهان
0.0131	0.9962	0.1376	0.9811	-0.0320	CanESM2	
0.0182	0.9863	0.2160	0.9534	-0.0336	NCEP	گلپایگان
0.0207	0.9916	0.2455	0.9398	-0.0516	CanESM2	
0.0321	0.9463	0.2903	0.9157	-0.1104	NCEP	کبوترآباد
0.0256	0.9540	0.2318	0.9463	-0.0890	CanESM2	
0.0273	0.9684	0.2975	0.9115	-0.0822	NCEP	کاشان
0.0415	0.9861	0.4518	0.7959	-0.2172	CanESM2	
0.0176	0.9933	0.1829	0.9666	-0.0555	NCEP	خور و بیابانک
0.0112	0.9977	0.1163	0.9865	-0.0360	CanESM2	
0.0219	0.7926	0.2011	0.9596	-0.0150	NCEP	نائین
0.0168	0.7979	0.1546	0.9761	0.0041	CanESM2	
0.0261	0.9719	0.2869	0.9177	-0.0436	NCEP	نطنز
0.0343	0.9577	0.3775	0.8575	-0.0499	CanESM2	
0.0116	0.9088	0.1087	0.9882	-0.0177	NCEP	شهرضا
0.0231	0.9267	0.2167	0.9530	-0.0319	CanESM2	
0.0172	0.9836	0.1839	0.9662	-0.0090	NCEP	فرودگاه
0.0088	0.9963	0.0944	0.9911	-0.0067	CanESM2	

دمای شبیه‌سازی شده توسط مدل CanESM2 ایستگاه اصفهان در تمامی ماه‌های سال تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی دارد. همچنین مقادیر شبیه‌سازی شده پارامتر باد بر اساس مدل CanESM2 در ایستگاه اصفهان در ماه‌های اکتبر و نوامبر بیشتر از داده‌های مشاهداتی می‌باشد و در بقیه ماه‌های سال تطابق خوبی با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد.

شکل (۴) نتایج مقادیر شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهداتی ایستگاه اصفهان را به عنوان نمونه نشان می‌دهد. بارندگی شبیه‌سازی شده توسط مدل CanESM2 ایستگاه اصفهان در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می، نوامبر و دسامبر کمتر از داده‌های مشاهداتی می‌باشد و در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر بیشتر از داده‌های مشاهداتی می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه مقادیر ریزمقیاس شده توسط متغیرهای پیش‌بینی کننده (NCEP و مدل CanESM2) و داده‌های مشاهداتی بارندگی، دما و باد در ایستگاه اصفهان

Figure 4- Comparison of downscaled values by predictor variables (NCEP and CanESM2 model) and observational data of rainfall, temperature and wind at Isfahan station

منطقه‌ای REMO به‌منظور پیش‌بینی تغییرات ویژگی‌های اقلیمی در آبخیز جازموریان پرداختند مطابقت دارد. نتایج بررسی مدل اقلیمی جهانی CanESM2 نشان داد که مدل SDSM از کارایی بالایی جهت مدل‌سازی و ریزمقیاس‌نمایی در منطقه مورد مطالعه برخوردار می‌باشد که با مطالعات محمود و همکاران (۲۰۱۲)، Bable (۲۰۱۲)، Chen و همکاران (۲۰۱۲)، Zakeri Anaraki و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. همچنین نتایج نشان داد که این مدل از کارایی بالایی جهت شبیه‌سازی پارامترهای دمای متوسط و سرعت باد نسبت به بارندگی در منطقه مورد مطالعه برخوردار می‌باشد که دلیل آن می‌تواند وجود مقادیر صفر کمتر در سری داده‌ها باشد که با نتایج Ansari و همکاران (۲۰۱۶)، Yosefi و همکاران (۲۰۱۸) و Ghonchehur و همکاران (۲۰۱۹) هم‌سو می‌باشد. نتایج معیارهای آماری پارامتر بارندگی نشان داد که مدل CanESM2 در ایستگاه‌های داران، اصفهان، خور و بیابانک، نائین و نطنز جهت شبیه‌سازی مقادیر بارندگی در آینده مناسب می‌باشد. همچنین این نتایج معیارهای آماری و داده‌های شبیه‌سازی شده مدل در دوره مشترک برای پارامترهای دما و باد تطابق بالایی را با داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد که با نتایج

بحث

در پژوهش حاضر، کارایی دو مدل اقلیمی منطقه‌ای REMO و مدل جهانی CanESM2 در استان اصفهان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی برای مدل اقلیمی منطقه‌ای REMO نشان داد که این مدل نسبت به مدل CanESM2 کارایی مناسبی ندارد. نتایج مدل نشان داد که مدل منطقه‌ای در پیش‌بینی پارامترهای بارندگی و دما کارایی پایین و در پیش‌بینی پارامتر باد کارایی ندارد. چنانکه خروجی این مدل نشان داد که به‌طور میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل برای پارامتر بارندگی بیشتر از مقادیر مشاهداتی، برای پارامتر دمای متوسط کمتر از مقادیر مشاهداتی و برای پارامتر باد بیشتر از داده‌های مشاهداتی در دوره مشترک می‌باشد. در حالیکه مدل منطقه‌ای REMO تفکیک مکانی بیشتری نسبت به مدل CanESM2 دارد ولی در منطقه مورد مطالعه کارایی مناسبی نداشت. توجه به این مسئله که مدل منطقه‌ای REMO در اروپا توسعه یافته و مورد آزمایش قرار گرفته است و همچنین تفاوت شرایط اقلیمی و جغرافیایی منطقه مورد مطالعه با منطقه توسعه مدل می‌تواند دلیلی بر عدم کارایی مدل در منطقه مورد مطالعه باشد که با نتایج Ebrahimi Khusfi و Mirakbari (۲۰۲۰) که به ارزیابی کارایی مدل گردش عمومی CanESM2 و مدل

CanESM2 کارایی بالایی جهت شبیه‌سازی پارامترهای بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد در منطقه مورد مطالعه دارد و می‌تواند به عنوان مدلی مناسب جهت پیش‌بینی اقلیم در دوره آینده در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد. بر طبق نتایج حاصل از پژوهش حاضر پیشنهاد می‌گردد در مطالعات بعدی جهت ارزیابی دقیق‌تر کارایی مدل اقلیمی از چندین مدل منطقه‌ای و گردش عمومی جو استفاده گردد. همچنین به دلیل کارایی متفاوت مدل‌ها در اقلیم‌های مختلف، مقایسه مدل اقلیمی حداقل در دو منطقه مطالعاتی با ویژگی‌های اقلیمی متفاوت صورت گیرد.

Goudarzi و همکاران (۲۰۱۵) و Mirakbari و همکاران (۲۰۱۸) مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری کلی

مدل‌های اقلیمی ابزارهای مناسبی جهت ارزیابی اقلیم در دوره آینده می‌باشند. در این مطالعه کارایی مدل‌های اقلیمی منطقه‌ای REMO و مدل عمومی جو CanESM2 بررسی گردید. نتایج تحقیق نشان داد که مدل اقلیمی منطقه REMO کارایی مناسبی جهت شبیه‌سازی پارامترهای بارندگی، دمای متوسط و سرعت باد در منطقه مورد مطالعه ندارد و مدل اقلیمی

References

- Abassi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M. & Borhani R. (2010). Climate Change Prediction of South Khorasan Province During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data. *Water & Soil*, 24(2), 218–33. Dio: [10.22067/JSW.V0I0.3218](https://doi.org/10.22067/JSW.V0I0.3218). (In Persian)
- Aghakhani Afshar, A.H., Hassanzadeh, Y., Besalatpour, A.A. & Pourreza-Bilondi, M. (2016). Annual assessment of Kashafrood watershed basin climate components in future periods by using fifth report of intergovernmental panel on climate change. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23, 217-233. Dio: [10.22069/JWFST.2017.11186.2553](https://doi.org/10.22069/JWFST.2017.11186.2553). (In Persian)
- Alizadeh, A., Sayari, N., Hesami Kermani, M. R., Bannayan Aval, M. & Farid Hossaini A. (2010). Assessment of Climate Change Potential Impacts on Agricultural Water Use and Water Resources of Kashaf rood basin. *Water & Soil*, 24(4), 815–35. (In Persian)
- Almazroui, M., Nazrul Islam, M., Saeed, F. Alkhalaf, A. & Dambul, R. (2017). Assessing the robustness and uncertainties of projected changes in temperature and precipitation in AR5 Global Climate Models over the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research*, 194(2017), 202-213. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2017.05.005>
- Andersen, H. E., Kronvang, B., Larsen, S. E., Hoffmann, C. C., Jensen, T. S. & Rasmussen, E. K. (2006). Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish lowland river basin. *Science of the Total Environment*, 365(1), 223-237. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.02.036>.
- Ansari, M., Noori, G. & Fotohi, S. (2016). Investigation of Temperature Precipitation and Flow Trend Using Nonparametric Mankendall (Case Study: Kaju River in Sistan and Baluchestan). *Journal of Watershed Management Research*, 7(14), 153-158. <http://dx.doi.org/10.29252/jwmr.7.14.158>. (In Persian)
- 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.
- Chen, H., Xu, C. Y. & Guo, S. (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of hydrology*, 434, 36-45. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.02.040>.
- Dibaba, W. T., Miegel, K. & Demissie, T. A. (2019). Evaluation of the CORDEX regional climate models performance in simulating climate conditions of two catchments in Upper Blue Nile Basin. *Dynam Atmos Oceans*, 87, 101104. <https://doi.org/10.1016/j.dynatmoce.2019.101104>.
- Dibike, Y. B. & Coulibaly, P. (2005). Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models. *Hydrology*, 307 (1-4), 145–163. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.012>.

- Ebrahimi Khusfi Z. & Mirakbari, M. (2020). Performance evaluation of the CanESM2 global circulation model and the REMO regional model to predict changes of climate Parameters in Jazmourian watershed. *Watershed Management Research*, 4(129), 61-76. DIO:10.22092/wme .2020.341365.1300. (In Persian)
- Gebremeskel, S., Liu, Y. B., de Smedt, F., Hoffmann, L. & Pfister, L. (2005). Analysing the effect of climate changes on streamflow using statistically downscaled GCM scenarios. *International Journal River Basin Management*, 2(4), 271–280. <https://doi.org/10.1080/15715124.2004.9635237>
- Ghonchepur, D., Saadaldin, A., Bahreman, A. R., Gikman, A. & Salmanmahiny, A. R. (2019). Application of quantitative screening method in statistical exponential micro-scale model (SDSM) to create climate change scenarios (Case study: Gorgan River basin). *Echo Hydrology*, 6(2). 397-314. (In Persian)
- Goudarzi, M., Salahi, B. & Hosseini, S. A. (2015). Performance Assessment of LARS-WG and SDSM Downscaling Models In Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin. *Iran Watershed Management Science & Engineering*, 9(31). <http://jwmsei.ir/article-1-457-en.html>. (In Persian)
- Gulacha, M. M. & Mulungu, D. M. (2017). Generation of climate change scenarios for precipitation and temperature at local scales using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania. *Physics and Chemistry of Earth, Parts A/B/C*, 62-72. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.10.003>.
- Hoshyar, S., Sobhani, M. & Hosseini, S. A. (2018). Perspective of Maximum Uromieh Temperature Changes Using the Output of CanESM2 Model. *Journal of Geography and Planning*, 22(63), 305-325. Doi: 4-15. (In Persian)
- Huang, J., Zhang, J., Zhang, Z., Xu, C., Wang, B. & Yao, J. (2011). Estimation of future precipitation change in the Yangtze River basin by using statistical downscaling method. *Stochastic Environmental Research Risk Assessment*, 25(6), 781–792. <https://doi.org/10.1007/s00477-010-0441-9>
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.
- Jahangir, M. H., Noruzi, A. & Yarahmadi, Y. (2018). Investigating the trend of changes in climatic parameters of Boroujerd city in the next 20 years using the model HADCM3. *Echo Hydrology*, 5(4), 1345-1353. DIO: <https://dx.doi.org/10.22059/ije.2018.269238.979>. (In Persian)
- Kabiri, R., Ramani Bai, V. & Chan, A. (2015). Assessment of hydrologic impacts of climate change on the runoff trend in Klang Watershed Malaysia. *Environmental Earth Science Journal*, 73, 27-37. <https://doi.org/10.1007/s12665-014-3392-5>.
- Mahmood, R. & Babel, S. M. (2012). Evaluation of SDSM developed by annual and monthly sub-models for downscaling temperature and precipitation in the Jhelum basin, Pakistan and India. *Theoretical and Applied Climatology*, 113(1), 27-44. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0765-0>
- Miao, C.Y., Duan, Q.Y., Sun, Q.H. & Li, J.D. (2013). Evaluation and application of Bayesian multi-model estimation in temperature simulations. *Progress in Physical Geography*, 37(6), 727-744. <https://doi.org/10.1177%2F0309133313494961>.
- Mirakbari, M., Mesbahzadeh, T., Mohseni Saravi, M., Khosravi, H. & Mortezaie Farizhendi, G. (2018). Performance of series model CMIP5 in simulation and projection of climatic variables of rainfall, temperature and wind speed (case study: Yazd). *Physical Geography Research Quarterly*, 50(3), 593-609. Doi:10.22059/jphgr.2018.248177.1007156. (In Persian)
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A., Manning, M.R., Rose, S.K., Van Vuuren, D.P., Carter, T.R., Emori, S., Kainuma, M., Kram, T., Meehl, G.A., Mitchell, J.F., Nalichenovic, N., Riahi, K., Smith, S.J., Stouffer, R.J., Thomson, A.M., Weyant, J.P. & Wilbanks, T.J. (2010). The next generation of scenarios

- for climate change research and assessment. *Journal of Nature*, 463(7282), 747-756.
<https://doi.org/10.1038/nature08823>.
- Secci, D., Tanda, M. G., D'Oria, M., Todaro, V. & Fagandini, C. (2021). Impacts of climate change on groundwater droughts by means of standardized indices and regional climate models. *Journal of Hydrology*, 603, 127154.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127154>.
 - Wetterhall, F., Bárdossy, A., Chen, D., Halldin, S. & Xu, C. Y. (2006). Daily precipitation-downscaling techniques in three Chinese regions. *Water resources research*, 42(11).
<https://doi.org/10.1029/2005WR004573>.
 - Wilby, R. L., Whitehead, P. G., Wade, A. J., Butterfield, D., Davis, R. J. & Watts, G. (2006). Integrated modelling of climate change impacts on water resources and quality in a lowland catchment: River Kennet, UK. *Journal of hydrology*, 330(1-2), 204-220. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.04.033>.
 - Xu, C.H. & Xu, Y. (2012). The Projection of Temperature and Precipitation over China under RCP Scenarios using a CMIP5 Multi-Model Ensemble. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*, 5(6), 527-533.
<https://doi.org/10.1080/16742834.2012.11447042>
 - Yosefi, H., Amini, L., Ghasemi, L. & Amrai, N. (2018). Evaluation of the efficiency of statistical downscaling model (SDSM) in simulation and forecast of climatic parameters (Case study: Karaj synoptic station). *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(3), 957-968.
<https://dx.doi.org/10.22059/ije.2018.254290.847>. (In Persian)
 - Zakeri Anaraki, S., Zehtabian, G., Khosravi, H., Azarnivand, H. & Malekian, A. (2021). Simulation and prediction of climatic components of maximum and minimum temperature using CanESM2 model output in future periods, Case study: Meyme plain, Isfahan province. *Journal of Range and Watershed Managment*, 74(2), 359-372.
<https://dx.doi.org/10.22059/jrwm.2019.256514.1327>. (In Persian)
 - Zhuo, C., Junhong, G., Wei, L., Fei, Z., Chan, X. & Zhangrong, P. (2022). Changes in wind energy potential over China using a regional climate model ensemble. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159, 112219.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112219>