



Accuracy Assessment of ECMWF Datasets in Prediction of Climate Data and Drought Monitoring of Garechai Basin of Markazi Province

ZAHRA SADAT HOSEENI¹, MAHNOOSH MOGHADDASI^{✉2}, SHAHLA PAIMOZD³

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, Arak, Iran, sadat.h7600@gmail.com

2. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, and Research Institute for Water sciences and Engineering, Arak University, Arak, Iran, mah_moghaddasi@hotmail.com

3. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Environment, Arak University, and Research Institute for Water sciences and Engineering, Arak University, Arak, Iran, paimozd.ar@hotmail.com

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: March. 9, 2022

Received: Apr. 11, 2022

Accepted: Apr. 16, 2022

Published online: June. 22, 2022

Keywords:

Climate data,
Drought,
ERA5,
ERA-Interim,
SPI,
SPEI

ABSTRACT

In recent decades, the increasing development of satellite technologies has provided access to climate data around the world with different spatial and temporal resolution. Therefore, in the present study, the goal of evaluating ECMWF datasets models is to predict climate data and drought monitoring in Qarechai basin of Markazi province. To this end, first monthly precipitation and temperature data of synoptic stations of Hamedan, Qom and Shazand in three provinces during the period of 1987-2018 were collected. Then, the mentioned data with spatial resolution of 0.125 * 0.125 degrees during 1979-2020 were extracted from the reanalysis models including ERA-Interim and ERA5 of ECMWF datasets. Statistics criteria's such as coefficient of determination (R^2), nash-sutcliffe (NS), normalized square root mean square error (NRMSE) and mean oblique error (MBE) and contingency table indices consisting of POD, FAR and CSI were used to compare the data of reanalysis models with observational data. The results showed that ERA5 data were more consistent with observational data than ERA-Interim data. As the values of correlation coefficient in most areas above 0.5, mean square error in 70% of areas is very low and mean oblique error in most areas is positive and small. The values of the agreement table indices also confirm the greater compatibility of the ERA5 model. Afterward, based on data of the selected model and observational, SPEI and SPI drought indices in selected stations were calculated. The results showed that SPEI index had higher correlation and less error with SPI than SPI. Finally, the trend based on the selected index showed that the severity of drought in the western region compared to other regions, has an increasing trend at the level of 5%.

Cite this article: Hosseini, Z., Moghaddasi, M., & Paimozd; Sh. (2022) Accuracy Assessment of ECMWF Datasets in Prediction of Climate Data and Drought Monitoring of Garechai Basin of Markazi Province, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (4), 715-722.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.340295.669227>



ارزیابی دقت پایگاه داده ECMWF در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی و پایش خشک‌سالی حوزه آبریز قره چای استان مرکزی

زهرا سادات حسینی^۱، مه‌نوش مقدسی^۲، شهلا پایمزد^۳

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک، ایران، sadat.h7600@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک و پژوهشکده آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران، mah_moghaddasi@hotmail.com

۳. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک و پژوهشکده آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران، paimozd.ar@hotmail.com

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|---|--|
| نوع مقاله: مقاله پژوهشی | در دهه‌های اخیر توسعه روزافزون تکنولوژی‌های ماهواره‌ای، امکان دسترسی به داده‌های اقلیمی در کل جهان با توان تفکیک مکانی و زمانی متفاوتی را فراهم نموده است. لذا در تحقیق حاضر، هدف ارزیابی مدل‌های پایگاه داده ECMWF در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی و پایش خشک‌سالی در حوزه آبریز قره‌چای استان مرکزی می‌باشد. بدین منظور ابتدا داده‌های بارش و دمای ماهانه ایستگاه‌های سینوپتیک همدان، قم و شازند در سطح سه استان طی دوره آماری ۲۰۱۸-۱۹۸۷ جمع‌آوری گردید. سپس از دو مدل باز تحلیل شده ERA-Interim و ERA5 پایگاه داده ECMWF داده‌های دما و بارش با قدرت تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه طی دوره ۱۹۷۹-۲۰۲۰ استخراج شده است. از آماره‌هایی مانند ضریب تعیین (R^2)، ضریب نش-ساتکلیف (NS)، مجذور میانگین مربع خطا استاندارد شده (NRMSE) و میانگین خطای اریبی (MBE) و شاخص‌های جدول توافقی که متشکل از POD، FAR و CSI می‌باشد، برای مقایسه داده‌های مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. نتایج نشان داد که داده‌های ERA5 نسبت به داده‌های ERA-Interim همخوانی بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد. بطوریکه مقادیر ضریب همبستگی در اکثر مناطق بالای ۰/۵، خطا در ۷۰ درصد مناطق بسیار کم و خطای اریبی نیز در بیشتر مناطق مقدار مثبت و کمی است. مقادیر شاخص‌های جدول توافقی نیز همخوانی بیشتر مدل ERA5 را تأیید می‌نماید. سپس بر اساس داده‌های مدل منتخب و مشاهداتی شاخص‌های خشک‌سالی SPEI و SPI در ایستگاه‌های منتخب محاسبه گردید. نتایج نشان داد که شاخص SPEI نسبت به SPI با داده‌های مشاهداتی همبستگی بالاتر و خطای کمتری دارد. در نهایت بررسی روند بر اساس شاخص منتخب نشان داد که شدت خشک‌سالی در منطقه غرب نسبت به بقیه مناطق، دارای روند افزایشی در سطح ۵ درصد می‌باشد. |
| تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۸ | |
| تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱/۲۲ | |
| تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۷ | |
| تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۴/۱ | |
| واژه‌های کلیدی: داده‌های اقلیمی، خشک‌سالی، ERA5، ERA-Interim، SPI، SPEI | |

استناد: حسینی، زهراسادات؛ مقدسی، مه‌نوش؛ پایمزد، شهلا (۱۴۰۱). ارزیابی دقت پایگاه داده ECMWF در پیش‌بینی داده‌های اقلیمی و پایش خشک‌سالی حوزه آبریز قره

چای استان مرکزی. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۳ (۴)، ۷۱۵-۷۲۲.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.340295.669227>



مقدمه

در عصر حاضر که نوسان و پویایی اقلیمی تأثیر زیادی بر محیط زیست و توسعه اجتماعی دارد و بسیاری از چالش‌های جهانی مانند ناامنی غذایی، بحران آب، از دست دادن تنوع زیستی و مسائل مربوط به سلامت به تغییرات آب و هوایی وابسته است، پایش دقیق عوامل آب و هوایی نظیر بارش و درجه حرارت بسیار مهم می‌باشد (Mishra, *et al.*, 2016). اما با توجه به پراکندگی، تراکم نامناسب، کمبود و همچنین وجود خلأهای آماری، پژوهشگران در بخش‌های بزرگی از جهان و به ویژه در کشورهای دارای تنوع زیاد توپوگرافی، با چالش‌های فراوانی برای پایش مواجه هستند (Erfani *et al.*, 2020). امروزه توسعه پایگاه‌های مدلسازی و پیش‌بینی داده‌های اقلیمی با توان تفکیک مکانی و زمانی، امکان دسترسی به داده‌های تقریباً به‌هنگام را فراهم کرده و تا حدودی چالش‌های مذکور را مرتفع نموده است. پایگاه‌های داده‌های نظیر NCEP/NCAR^۱، پایگاه اقلیم جهانی (CRU)^۲، مرکز پیش‌بینی میان‌مدت-جوی اروپایی (ECMWF)^۳ از این نوع می‌باشند. مدلسازی داده‌های اقلیمی با بهره‌گیری از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سراسر کره زمین (ایستگاه‌های همدیدی، بویه‌های دریایی، ایستگاه‌های جو بالا)، داده‌های بدست آمده از ماهواره‌های هواشناسی، داده‌های بدست آمده از خطوط هوایی و کشتیرانی بین‌المللی و نیز با در نظر گرفتن رابطه فیزیکی دینامیکی بین جو و اقیانوس و اثر توپوگرافی پیچیده کره زمین و توزیع اقیانوس‌ها و جنگل‌های گسترده بر روی آن به پیش‌بینی حرکات جوی و متغیرهای مختلف مانند بارش، دما، فشار، باد و ... در طی زمان می‌پردازند و عمدتاً به صورت شبکه‌بندی شده هستند (Dee *et al.*, 2011; Balsamo *et al.*, 2015). این پایگاه‌ها، به دلیل عدم قطعیت‌هایی که در تخمین پارامترهای اقلیمی دارند، بایستی قبل از استفاده مورد ارزیابی و تصحیح قرار گیرند. لذا برای تمامی مطالعات منابع آب و مدلسازی‌های هیدرولوژیکی استفاده از این پایگاه‌های داده، نیازمند یک سری بررسی‌های اولیه می‌باشد. داده‌های ERA5^۴ و ERA-Interim^۵ از پایگاه داده ECMWF از نوع ترکیب داده است و از انواع داده‌های مشاهدات سطح زمین، رادیوسوند، اندازه‌گیری با بالون، نیمرخ‌های هوانوردی، و ماهواره‌های تابشی، طیف سنج و ارتفاع سنج ماهواره‌های ERS^۶، سنجنده‌های نوآ، سنجنده‌های تهیه نقشه مجموع ازن TOMS^۷، اشعه ماوراء بنفش خورشید SBUV^۸ و ... استفاده می‌کنند. تحقیقات متعددی به بررسی این داده‌ها در مناطق مختلف و برای متغیرهای مختلف اقلیمی پرداخته‌اند که در ادامه به برخی از آنها اشاره خواهد شد (Bosilovich *et al.*, 2008). نتیجه واکاوی سنجش دقت زمانی مکانی بارش پایگاه داده ECMWF بر روی ایران زمین نشان داد که نه تنها از نگاه هماهنگی زمانی، بلکه به لحاظ مقدار نیز همانندی بسیار زیادی بین مقادیر برآورد شده بارش پایگاه داده ECMWF با مقادیر مشاهده شده بارش دو پایگاه ایران (پایگاه داده اسفزاری و پیمونگه‌های همدید) وجود دارد. داده‌های ساعتی بارش ERA-Interim را با داده‌های ایستگاه‌های همدیدی و پایگاه ملی داده‌های درون‌یابی شده اسفزاری مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که ERA-Interim بیشترین دقت را در پیش‌بینی بارش مناطق کوهستانی زاگرس، جنوب غرب و شمال شرق کشور دارد (Darand and Zandkarimi, 2016). در تحقیقی به بررسی میزان خطای پایگاه داده ECMWF در پیش‌بینی بارش مناطق گوناگون ایران پرداختند. نتایج نشان داد که ERA-Interim دقت بسیار زیادی در پیش‌بینی بارش بسیاری از نقاط کشور دارد و میزان خطای آن بیش از ۷۰ درصد از ایستگاه‌های مورد بررسی اندک و قابل چشم‌پوشی است. همچنین مشخص شد که ERA-Interim بارش ایستگاه‌های ناحیه ساحلی خزر و برخی ایستگاه‌های ناحیه ساحلی خلیج فارس را کمتر از مقدار واقعی پیش‌بینی می‌کند (Raziei and Sotoudeh, 2017). در تحقیقی به مقایسه برآوردهای ماهواره‌ای و مجموعه داده‌های با وضوح بالا برای مطالعه رویدادهای بارش در شبه جزیره ایبری در جنوب غربی اروپا در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ پرداختند. منابع بارش از سه پایگاه داده ERA-Interim، ERA5 و TRMM^۹، با توجه به داده‌های مشاهداتی موجود در سطح حوضه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که منابع بارشی بازتخلیل شده و منبع بارش ماهواره‌ای در برآورد وقایع حدی بارش کم‌برآوردی داشته همچنین از دیگر نتایج مهم دیگر این پژوهش می‌توان به کارایی بهتر محصول ERA5 نسبت به ERA-Interim و TRMM اشاره نمود (Hénin *et al.*, 2018). در تحقیقی به ارزیابی تولیدات شبکه‌ای بازتخلیل پایگاه داده ECMWF در مناطق اقلیمی مختلف ایران پرداختند. در این پژوهش با محاسبه ضریب همبستگی و میزان خطا به این نتیجه رسیدند که به طور متوسط مدل در برآورد دمای میانگین و دمای حداکثر خطای کمتری را دارد. دمای نقطه شبنم مدل در ایستگاه مشهد همبستگی قوی و مثبتی با مشاهدات دارد و برای ایستگاه‌های بیرجند و

^۱ National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research

^۲ Climatic Research Unit

^۳ European Centre for Medium-Range Weather Forecasts

^۴ ECMWF Reanalysis v5

^۵ ECMWF Reanalysis Interim

^۶ European Respiratory Society

^۷ Total Ozone Mapping Spectrometer

^۸ Solar Backscatter UV

^۹ Tropical Rainfall Measuring Mission

رشت به ترتیب بیش و کم برآورد دیده شد. پراکنش نقاط پیرامون خط واریانس برای متغیرها نشان دهنده ارتباط خوب بین داده‌های مشاهده‌ای با مدل ERA-Interim است. همبستگی بالای سری زمانی روزانه بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی مدل در همه متغیرها بین ۰/۷ تا ۰/۹۹ متغیر است و نشان‌دهنده ارتباط قوی خطی مثبت بین مقادیر مشاهده‌ای و مدل را نشان می‌دهد (Arabi Yazdi et al., 2020). به ارزیابی منابع مختلف بارشی متشکل از ERA-Interim، CaPA، JRA-55، MERRA-2^۲ و NLDAS-2^۳ در حوضه رودخانه آسینیواین کشور کانادا (ARB) پرداختند. در این تحقیق بارش روزانه در تمامی منابع مورد نظر استخراج و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در حالت کلی محصولات بارش مورد نظر در فصل بهار و پاییز و از بین محصولات مورد نظر به ترتیب CaPA و MERRA-2 بهترین عملکرد در سطح حوضه مورد نظر را نشان دادند. از نتایج دیگر این پژوهش این است که ERA5 عملکرد بهتری از ERA-Interim داشته و در نهایت بدترین عملکرد مربوط به JRA-55 می‌باشد (Xu et al., 2019). به ارزیابی منابع مختلف بارش GPM-IMERGV05^۴، ERA-Interim، ERA5 و TMPA42V7^۵ با داده‌های زمینی (۲۵۶ ایستگاه) در کشور ترکیه پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که در حالت کلی منبع بارش ماهواره‌ای GPM-IMERGV07 در برآورد بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی نتایج بهتری ارائه و تمامی منابع بارش مورد اشاره در برآورد بارش روزانه دارای بیش‌برآوردی بودند. همچنین منبع بارش ERA5 با توجه به شاخص‌های آماری ضریب همبستگی و شاخص‌های جدول توافقی نتایج بهتری نسبت به منبع بارش ERA-Interim ارائه داد و در نهایت با توجه به پژوهش حاضر منابع بارش ماهواره‌ای نسبت به منابع بارش بازتحلیل از عملکرد بهتری برخوردار هستند (Amjad et al., 2020). به ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل شده ERA5 در تخمین بارش روزانه و ماهانه در استان اردبیل پرداختند. نتایج نشان داد که در مقیاس روزانه در اکثر سلول‌های مورد بررسی ضریب همبستگی برای منبع بارش ERA5 بیشتر از ۰/۷۵ و مقدار RMSE نیز کمتر از ۳ میلیمتر بود. در مقیاس ماهانه نیز مقدار ضریب همبستگی برای منبع ERA5 بیشتر از ۰/۸ و شاخص RMSE نیز برای منبع بارش ERA5 در اکثر سلول‌های مورد بررسی، کمتر از ۲۰ میلیمتر بود. بررسی‌ها با استفاده از شاخص‌های جدول توافقی نیز نشان داد که مقدار شاخص POD برای منبع بارش ERA5 در سلول‌های محل تحقیق، در دامنه ۰/۷ تا ۰/۸۵، FAR در محدوده ۰ تا ۰/۲۵، POFD در محدوده ۰/۱ تا ۰/۲ و CSI در محدوده ۰/۴ تا ۰/۵ متغیر می‌باشد (Azizi Mobaser et al., 2020). در پژوهشی عملکرد زمانی و مکانی ۵ مجموعه داده‌ی بارش شبکه بندی جهانی شامل NASA MERRA2، CHIRPS V2، ECMWF ERA5، GPCP V8^۶ و PERSIANN-CDR (PCDR)^۷ در پایش خشکسالی را مورد ارزیابی قرار دادند. به این منظور از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) و اطلاعات بارش ۱۳ ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی ایران طی دوره ۱۰ ساله‌ی ۲۰۱۶-۱۹۸۷ استفاده شد. نتایج نشان داد که مجموعه داده‌های GPCP، PCDR، ERA5، توافق قوی با SPI مشاهداتی داشته‌اند به طوری که روند و وقایع خشکسالی را به خوبی نشان داده‌اند. همچنین میزان RMSE آنها نسبت به CHIRPS و MERRA2 پایین‌تر و ضریب نش ساتکیف و MAI آنها بالاتر بوده‌است (Navidi et al., 2021). در تحقیق خود از داده‌های بارش ERA-Interim جهت بررسی خشکسالی با شاخص خشکسالی SPI طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۶ استفاده شده‌است. نتایج ارزیابی‌های اولیه حاکی از این بود که میزان همبستگی برای منبع بارش ERA-Interim و داده‌های مشاهداتی در محدوده ۰/۴۵ تا ۰/۹ برای ماه‌های مختلف بوده و همچنین میزان NRMSE برای این منبع بارش در اکثر ماه‌های مورد بررسی زیر ۰/۲ بود که با توجه به این دو شاخص میتوان گفت منبع بارش ERA-Interim در مقیاس زمانی ماهانه از دقت مناسبی در سطح کشور برخوردار است به همین جهت از این منبع بارش جهت بررسی وضعیت خشکسالی در سطح کشور استفاده شد. بررسی وضعیت خشکسالی با توجه به شاخص SPI حاکی از این مساله بود که با افزایش مقیاس زمانی شاخص SPI خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها شدیدتر شده‌است (Pilpaye et al., 2021).

همانطور که در مطالعات فوق گفته شد در تحقیقی عملکرد داده‌های بارش روزانه و ماهانه مدل ERA5 ارزیابی گردید اما کاربرد این داده‌ها در پایش خشکسالی انجام نگردید (Azizi Mobaser et al., 2020). همچنین در تحقیق دیگری از داده‌های بارش شبکه‌بندی جهانی در پایش خشکسالی استفاده شد ولی تنها یک شاخص تک متغیره (SPI) مورد بررسی قرار گرفت (Navidi et al., 2021). لذا آنچه این تحقیق را از تحقیقات قبل متمایز می‌سازد و در واقع نوآوری آن محسوب می‌شود شامل دو بخش می‌باشد. بخش اول بررسی عملکرد دو مدل ERA-Interim و ERA5 از پایگاه ECMWF در یک حوضه با تغییرات بالائی بارندگی (حوزه آبریز قره‌چای بعنوان بزرگترین حوضه آبریز استان مرکزی) و بخش دوم ارزیابی

۱ Canadian Precipitation Analysis

۲ Japanese 55-year Reanalysis

۳ Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2

۴ North American Land Data Assimilation System project phase 2

۵ Global Precipitation Measurement- Integrated Multi-Satellite Retrievals for Global Precipitation Measurement

۶ Tropical Rainfall Measuring Mission Multi-Satellite Precipitation Analysis Multi-Satellite Precipitation Analysis-

۷ Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, version 2

۸ Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Stations

۹ Global Precipitation Climatology Centre

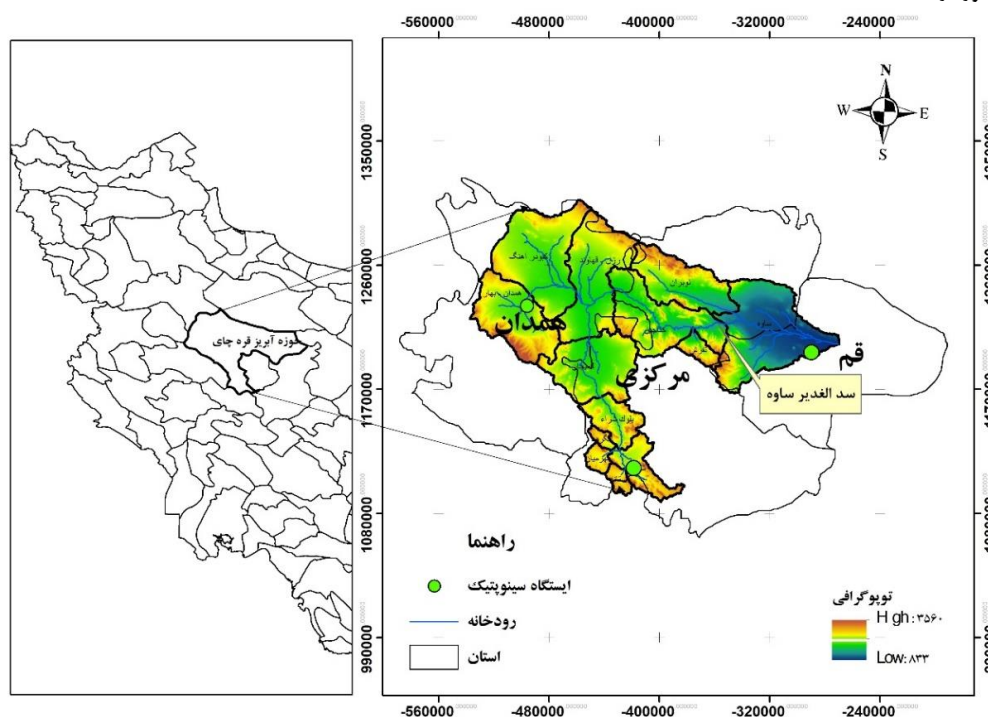
۱۰ Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks-Climate Data Record

این داده‌ها در پایش خشکسالی با استفاده از شاخص β ‌های مختلف تک متغیره (SPI) و دو متغیره (SPEI) است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز قره‌چای با مساحت حدود ۲۴۰۰۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگترین حوضه‌های آبریز استان مرکزی می‌باشد که در بین استان‌های مرکزی، همدان و قم واقع شده است. رودخانه اصلی این حوضه، رودخانه قره‌چای است که از ارتفاعات استان مرکزی و استان همدان سرچشمه گرفته و در مسیر خود ابتدا به استان همدان و سپس به استان مرکزی وارد و در نهایت به دریاچه نمک استان قم می‌ریزد. این حوضه شامل محدوده‌های مطالعاتی رزن - قه‌اوند، کبوتر آهنگ، همدان-بهار (استان همدان)، نوبران، ساوه، تفرش، خنجین، کمیجان، بلوک شرا، شازند، نهرمیان، آستانه و لنگرود (استان مرکزی) می‌باشد. بر روی این رودخانه بندها و سدهای زیادی بنا شده‌است که مهم‌ترین آنها سد مخزنی الغدیر یا سد ساوه با حجم ۲۷۷ میلیون مترمکعب در محدوده مطالعاتی خنجین می‌باشد (شکل ۱). با توجه به نقش اساسی این سد در تامین آب شرب استان مرکزی، مطالعه این حوضه از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۱- منطقه مطالعاتی حوضه آبریز قره‌چای استان مرکزی

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مشاهداتی

داده‌های مشاهداتی این منطقه از سه ایستگاه سینوپتیک همدان، قم و شازند در سطح سه استان با طول دوره آماری ۳۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۱۸) جمع‌آوری گردید (شکل ۱). ایستگاه شازند در استان مرکزی با متوسط بارش سالانه ۴۷۰ میلی‌متر و ایستگاه قم در استان قم با متوسط بارش سالانه ۱۴۳ میلی‌متر به ترتیب به عنوان ایستگاه پربارش و کم‌بارش منطقه می‌باشند (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب منطقه مطالعاتی

| ردیف | نام ایستگاه | مشخصات جغرافیایی | | | متوسط بارش (میلی‌متر) | متوسط دما (درجه سانتیگراد) |
|------|-----------------|------------------|-------|--------|-----------------------|----------------------------|
| | | طول | عرض | ارتفاع | | |
| ۱ | همدان (فرودگاه) | ۴۸/۵۳ | ۳۴/۸۶ | ۱۷۴۲ | ۳۰/۲ | ۱۱/۵ |
| ۲ | قم | ۵۰/۸۵ | ۳۴/۷ | ۸۷۷ | ۱۴۳ | ۱۸/۵ |
| ۳ | شازند | ۴۹/۴ | ۳۳/۹۳ | ۱۹۱۳ | ۴۷۰ | ۱۲/۲۶ |

داده‌های ECMWF

مدل ERA-Interim

منبع بارش ERA-Interim یک محصول بارشی بازتحلیل شده و یا تحلیل مجدد می‌باشد که توسط مرکز پیش‌بینی های میان مدت جوی اروپایی ارائه می‌شود. داده‌های ERA-Interim داده‌های نسل سوم پایگاه داده ECMWF می‌باشد (Dee *et al.*, 2011) و به صورت روزانه و ماهانه با تفکیکی مکانی ۷۹ کیلومتر، ۶۰ سطح تا ۰/۱ هکتو پاسکال در دسترس کاربران قرار دارد و تقریباً هر چند ماه یکبار به روز می‌شوند. این داده‌ها در دقت‌های متفاوت مکانی ۰/۷۵×۰/۷۵، ۰/۵×۰/۵، ۰/۲۵×۰/۲۵ و ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه جغرافیایی قابل دانلود می‌باشند.

مدل ERA5

داده‌های ERA5 داده‌های نسل پنجم پایگاه داده ECMWF می‌باشد که در مقایسه با داده‌های ERA-Interim تغییرات مهمی از جمله وضوح مکانی و زمانی بالاتر، جذب مشاهدات بیشتر، مدل عددی بهبود یافته و شبیه‌سازی طرح‌های داده‌ها، و نسخه‌های بهبود یافته، پیدا کرده‌است (Hersbach *et al.*, 2018). این داده‌ها آخرین مجموعه داده‌های باز تحلیل با تفکیک مکانی ۳۱ کیلومتر، ۱۳۷ سطح تا ۰/۰۱ هکتو پاسکال می‌باشند که پارامترهای جوی، سطح زمین و اقیانوسی را همراه با عدم قطعیت‌های آنها از سال ۱۹۷۹ تاکنون در اختیار کاربران قرار می‌دهد. مجموعه داده ERA5 به دلیل افزایش تفکیک افقی، خروجی سه ساعته، بهبود دقت و نمایش بهتر جزئیات در سطح مدل نسبت به ERA-Interim، جایگزین ERA-Interim شده‌است. به روزرسانی مجموعه داده و دقت این پارامترها به ترتیب هر ۵ روز و هر سه ماه منتشر می‌شود. قابل ذکر است که در تحقیق حاضر از داده‌های ماهانه هر دو مدل فوق و با دقت مکانی ۰/۱۲۵×۰/۱۲۵ درجه جغرافیایی (حدود ۱۰ کیلومتر) طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۷۹ استفاده شده است.

آزمون من کندال

کندال متغیر τ را جهت اندازه‌گیری رابطه بین x و y ارائه کرد و من با استفاده از آزمون کندال یکی از متغیرها را زمان در نظر گرفت تا روند را مورد آزمون قرار دهد (Mann, 1945; Kendall, 1975). آزمون ناپارامتری من کندال برای شناسایی روند سری‌های زمانی داده‌ها استفاده می‌شود. در این آزمون تصادفی بودن داده‌ها با عدم وجود روند مشخص می‌گردد. در آزمون من کندال H_0 (عدم وجود روند) و H_1 (وجود روند) به ترتیب با سری زمانی داده بدون و با روند مطابقت دارند.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(Y_j - Y_i) \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\text{sgn}(Y_j - Y_i) = \begin{cases} +1 & \text{if } (Y_j - Y_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (Y_j - Y_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (Y_j - Y_i) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$R(S) = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \quad \text{رابطه ۳}$$

$$Z_m = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

در روابط فوق N تعداد داده مشاهده‌ای (طول دوره آماری)، x_i و x_j به ترتیب i امین و j امین داده مشاهده‌ای، و q عدد گروه‌های ایجاد شده (با داده‌های برابر و بیشتر از دو عضو)، t_p تعداد داده‌های برابر در p امین گروه و Z_M مقدار آماره من-کندال می‌باشد. مقدار منفی Z_M بیانگر روند کاهشی و مقدار مثبت آن نشان دهنده روند افزایشی در سری داده‌ها می‌باشد. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اگر $|Z_M| > 1/96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیراینصورت فاقد روند ارزیابی می‌شود.

شاخص بارندگی-تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)^۱

این شاخص در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله ساده بیان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل براساس رویکرد تورنتوایت استفاده می‌نماید. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)، تفاوت بین بارندگی (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه i به صورت ذیل محاسبه می‌گردد:

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{رابطه ۵}$$

مقادیر D در مقیاس‌های زمانی مختلف از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$D_n^k = \sum_{n=0}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-i} \quad \text{رابطه ۶}$$

که k (ماه‌ها) مقیاس زمانی مورد نظر و n ماه مورد نظر در محاسبه می‌باشد. یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشکسالی نیاز است تا بتواند مقادیر منفی در داده‌های D را پوشش دهد. نتایج انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع نشان داده است که تابع لجستیک لگاریتمی برازش خوبی بر سری زمانی داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف دارد. بدین ترتیب تابع تجمعی احتمال سری داده‌های D براساس تابع لجستیک لگاریتمی به صورت زیر می‌باشد:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma}\right)\right]^{-1} \quad \text{رابطه ۷}$$

که α پارامتر مقیاس، β پارامتر شکل و γ پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده $\gamma > D < \infty$ است. بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می‌گردد. (جدول ۱).

شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)^۱

برای محاسبه SPI شاخص که از شناخته شده ترین شاخص‌ها است، ابتدا با برازش توزیع گاما بر داده‌های بارندگی ماهیانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن محاسبه شده سپس با انتقال احتمال تجمعی به دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده، مقادیر SPI از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد (McKee et al., 1993).

$$SPI = \frac{X_i - \bar{X}}{S_x} \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن X_i بارندگی در هر ماه، \bar{X} میانگین بارندگی در مقیاس زمانی، S_x انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی است.

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های خشکسالی SPEI و SPI

| طبقات | توصیف وضعیت |
|------------|--------------------|
| بیشتر از ۲ | رطوبت بسیار شدید |
| ۱/۵ تا ۲ | رطوبت شدید |
| ۱ تا ۱/۵ | رطوبت متوسط |
| ۱ - تا ۱ | نرمال |
| -۱ تا -۱/۵ | خشکسالی متوسط |
| -۱/۵ تا -۲ | خشکسالی شدید |
| کمتر از -۲ | خشکسالی بسیار شدید |

معیارهای ارزیابی

برای ارزیابی و اعتبارسنجی منابع بارش از دو گروه شاخص استفاده شد. شاخص‌های گروه اول شامل ضریب همبستگی، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریبی و ضریب کارایی نش ساتکلیف و شاخص‌های گروه دوم شاخص‌های جدول توافقی می‌باشند. به منظور مقایسه پیش‌بینی‌های مدل در برآورد بارش و دما در برابر داده‌های مشاهداتی از آماره‌های ضریب همبستگی (R^2)^۲، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)^۳ و استاندارد شده (NRMSE)^۴، میانگین خطای اریبی (MBE)^۵ و ضریب کارایی نش ساتکلیف (NS)^۶ استفاده شده است که در قسمت ذیل روابط آنها ارائه شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - O_i)^2}{N}} \quad \text{رابطه ۹}$$

۱ Standardized Precipitation Index

۲ Correlation Coefficient

۳ Root Mean Square Error

۴ Normalized Root Mean Square Error

۵ Mean Bias Error

۶ Nash-Sutcliffe

$$R^2 = \left[\frac{\sum_1^N (O_i - O_{avg})(M_i - M_{avg})}{\sqrt{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2} \sqrt{\sum_1^N (M_i - M_{avg})^2}} \right]^2 \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

$$MBE = \frac{\sum_1^N (M_i - O_i)}{N} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$S = 1 - \frac{\sum_1^N (O_i - M_i)^2}{\sum_1^N (O_i - O_{avg})^2} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

در روابط بالا N تعداد داده‌ها، i روز، O_i داده‌های مشاهده‌ای، M_i داده‌های پایگاه‌های باز تحلیل شده، O_{avg} متوسط داده‌های مشاهده‌ای و M_{avg} متوسط داده‌های پایگاه‌های باز تحلیل شده است.

شاخص‌های جدول توافقی نشان دهنده میزان توانایی تخمین‌های منبع بارش در تشخیص وقوع و یا عدم وقوع بارش است. این نوع از پیش‌بینی‌ها گاهی اوقات با عنوان پیش‌بینی‌های بله/خیر شناخته می‌شود (Dehkordi et al., 2019). این شاخص‌ها شامل CSI، POD و FAR می‌باشند و بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$CSI = \frac{\text{Hit}}{\text{Hit} + \text{Miss} + \text{False Alarm}} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$FAR = \frac{\text{False Alarm}}{\text{Hit} + \text{False Alarm}} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$POD = \frac{\text{Hit}}{\text{Hit} + \text{Miss}} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

در روابط فوق، HIT وقوع یک پیشامد پیش‌بینی می‌شود و آن پیشامد روی می‌دهد، Miss پیش‌بینی می‌شود یک پیشامد روی ندهد، ولی روی می‌دهد و False alarm پیش‌بینی می‌شود یک پیشامد روی ندهد، ولی روی می‌دهد. محدوده تغییرات این شاخص‌ها بین صفر تا ۱ می‌باشد و هر چه میزان شاخص CSI و POD به ۱ نزدیکتر و شاخص FAR به صفر نزدیکتر باشد، عملکرد موردنظر بهتر خواهد بود (Donaldson et al., 1975).

یافته‌ها

ارزیابی داده‌های مدل ERA-Interim و ERA5

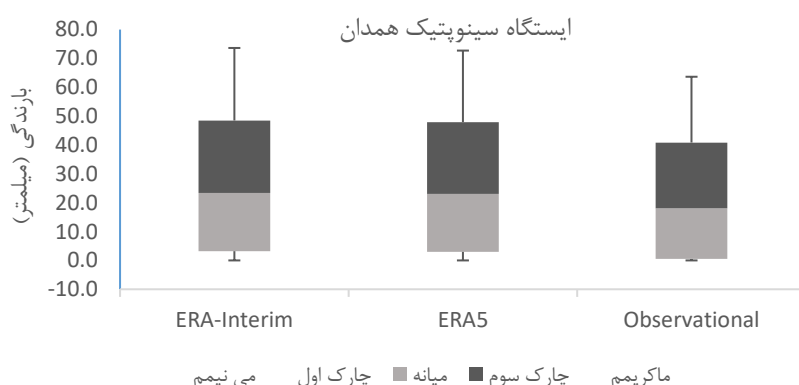
بارش

نتایج ارزیابی ماهانه بارش مدل‌های منتخب برای ایستگاه‌های سینوپتیک همدان، قم و شازند در جدول ۲ ارائه شده است. همانطور که قابل مشاهده است مقدار ضریب همبستگی در تمامی ایستگاه‌ها و هر دو مدل، بطور میانگین بین ۰/۵ تا ۰/۸ متغیر می‌باشد. مقدار NRMSE همچنین نشان داد در هر سه ایستگاه کمترین خطا مربوط به تابستان و بیشترین مربوط به زمستان است. مقدار MBE در ایستگاه همدان در هر دو مدل نشان داد در تمامی فصل‌ها بجز تابستان این مدل‌ها مقدار بیشتری را نسبت به مقدار واقعی برآورد می‌نمایند. در ایستگاه قم مقدار آریبی در مدل ERA5 در ماه‌های پاییز و زمستان مقدار کمتر و در فصل‌های بهار و تابستان مقدار بیشتری را برآورد می‌نماید و همچنین در مدل ERA-Interim نیز در تمامی ماه‌ها مقدار بیشتری را نسبت به مقدار مشاهده‌ای محاسبه نموده است. در ایستگاه شازند مقدار آریبی در مدل ERA5 در تمامی ماه‌ها مثبت و در مدل ERA-Interim در تمامی ماه‌ها به جز تابستان مقدار بیشتری را نسبت به مقدار واقعی نیز برآورد می‌کند. تغییرات بارندگی مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهده‌ای برای هر سه ایستگاه در اشکال ۲ تا ۴ ارائه شده است. مقدار ضریب NASH در تمامی ایستگاه‌ها و در هر دو مدل به خصوص ERA5 مقدار قابل قبول و دقت خوبی دارد. بطور میانگین مقدار این ضریب در ایستگاه همدان در داده‌های ERA5 برابر با ۰/۱ و در داده‌های ERA-Interim برابر با ۰/۰۲، در ایستگاه قم در داده‌های ERA5 برابر با ۰/۴ و در داده‌های ERA-Interim برابر با ۰/۷- و همچنین در ایستگاه شازند در داده‌های ERA5 برابر با ۰/۳- و در داده‌های ERA-Interim برابر با ۰/۵- می‌باشد. همانطور که قابل مشاهده است در ایستگاه همدان مقدار میانه در داده‌های مشاهده‌ای و مدل‌های ERA5 و ERA-Interim به ترتیب برابر با ۱۸/۰۵، ۲۷/۰۹ و ۲۳/۳۴ می‌باشد که نشان داد توزیع داده‌ها در این مدل‌ها مانند مشاهدات تقریباً متقارن و چولگی صفر است (شکل ۲). در ایستگاه قم این مقادیر به ترتیب برابر با ۶/۲۱، ۶/۹۲ و ۱۰/۳۷ است که نشان داد داده‌های ERA5 با داده‌های مشاهده‌ای مشابهت بیشتری دارند و تقریباً در همگی، چولگی داده‌ها مثبت و به سمت مقادیر بیشتر می‌باشد. (شکل ۳). این مقادیر در ایستگاه شازند نیز به ترتیب برابر با ۲۳/۷، ۲۳/۳۶ و ۲۳/۲۴ است که نشان داد که توزیع داده‌ها کاملاً متقارن و چولگی صفر می‌باشد (شکل ۴). شاخص‌های جدول توافقی نشان داد که در هر سه ایستگاه مقادیر POD و CSI نزدیک به یک و مقدار FAR در این ایستگاه‌ها نزدیک به صفر می‌باشد که نشانگر عملکرد مناسب روش پیشنهادی در پیش‌بینی شرایط بارش می‌باشد (شکل ۵).

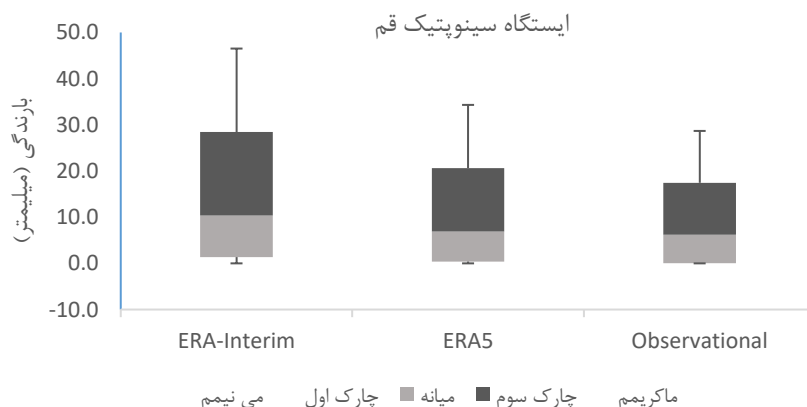
دما

نتایج ارزیابی ماهانه دما مدل‌های منتخب برای ایستگاه‌های سینوپتیک همدان، قم و شازند در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که قابل

مشاهده است مقدار ضریب همبستگی در تمامی ایستگاه‌ها و هر دو مدل، بطور میانگین بین ۰/۵ تا ۰/۹ متغیر می‌باشد. مقدار خطای NRMSE در ایستگاه همدان در داده‌های ERA5 بین ۰/۱ تا ۰/۴ و در داده‌های ERA-Interim بین ۰/۱ تا ۰/۳ متغیر است که در فصل‌های سرد سال (پاییز و زمستان) کمترین مقدار را نشان می‌دهد. مقدار خطای NRMSE در ایستگاه قم در داده‌های ERA5 بین ۰/۰۶ تا ۰/۲ و در داده‌های ERA-Interim بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ در تمامی ماه‌ها متغیر است که نشان از عملکرد خوب و اختلاف کم با داده‌های مشاهداتی دارد. مقدار خطای NRMSE در ایستگاه شازند در داده‌های ERA5 بین ۰/۰۶ تا ۰/۸ و در داده‌های ERA-Interim بین ۰/۳ تا ۰/۶ در تمامی ماه‌ها متغیر است. مقدار اریبی محاسبه شده در ایستگاه همدان و در هر دو مدل در فصل تابستان و بهار مقدار بیشتر و در فصل‌های پاییز و زمستان مقدار کمتری را نسبت به مقدار واقعی برآورد می‌کند. مقدار اریبی محاسبه شده در ایستگاه قم در داده‌های ERA5 در تمامی ماه‌ها و در داده‌های ERA-Interim در تمامی ماه‌ها جز فصل زمستان مقدار بیشتری را برآورد می‌کند. همچنین مقدار اریبی محاسبه شده در ایستگاه شازند نیز در داده‌های ERA5 در فصل‌های گرم سال (بهار و تابستان) و در داده‌های ERA-Interim در تمامی ماه‌ها جز زمستان مقدار بیشتری را برآورد می‌کند. مقدار ضریب NASH در ایستگاه همدان در هر دو مدل بین ۰/۱- تا ۰/۷ متغیر است. ضریب NASH در ایستگاه قم در داده‌های ERA5 بین ۱/۳- تا ۰/۵ و در داده‌های ERA-Interim بین ۱/۸- تا ۰/۸ در تمامی ماه‌ها متغیر است و همچنین ضریب NASH در ایستگاه شازند در هر دو مدل بین ۱/۹۶- تا ۰/۸- متغیر می‌باشد که بطور کلی در تمامی ایستگاه‌ها مقدار مطلوب و قابل قبولی دارند. تغییرات بارندگی مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی برای هر سه ایستگاه در اشکال ۵ تا ۷ ارائه شده‌است. همانطور که قابل مشاهده‌است در ایستگاه همدان مقدار میانه در داده‌های مشاهداتی و مدل‌های ERA5 و ERA-Interim به ترتیب برابر با ۱۲/۰۳، ۱۲/۲۳ و ۱۲/۵۶ می‌باشد (شکل ۵). در ایستگاه قم این مقادیر به ترتیب برابر با ۱۸/۷۸، ۱۹/۷۴ و ۱۹/۸۴ است که نشان داد داده‌های ERA5 با داده‌های مشاهداتی مشابهت بیشتری دارند. (شکل ۶). این مقادیر در ایستگاه شازند نیز به ترتیب برابر با ۱۲/۱۵، ۱۱/۷۹ و ۱۲/۲۶ است (شکل ۷). شاخص‌های توافقی دما نیز در تمامی ایستگاه‌ها و در تمامی پارامترها در بهترین حالت ممکن (POD=1 و CSI=1 FAR=0) می‌باشد.



شکل ۲- تغییرات بارندگی مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک همدان

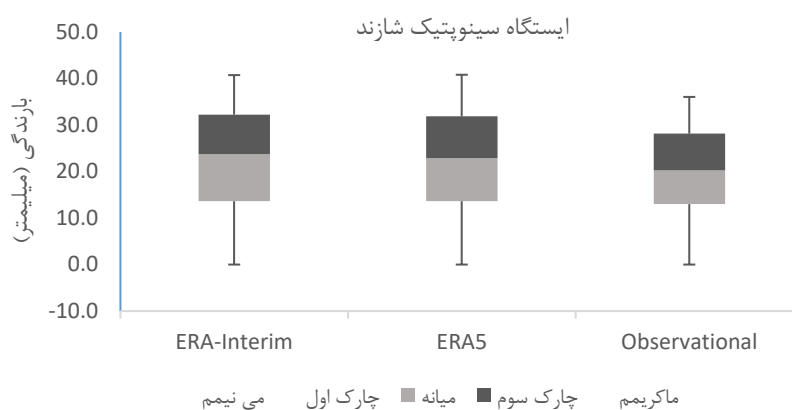


شکل ۳- تغییرات بارندگی مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک قم

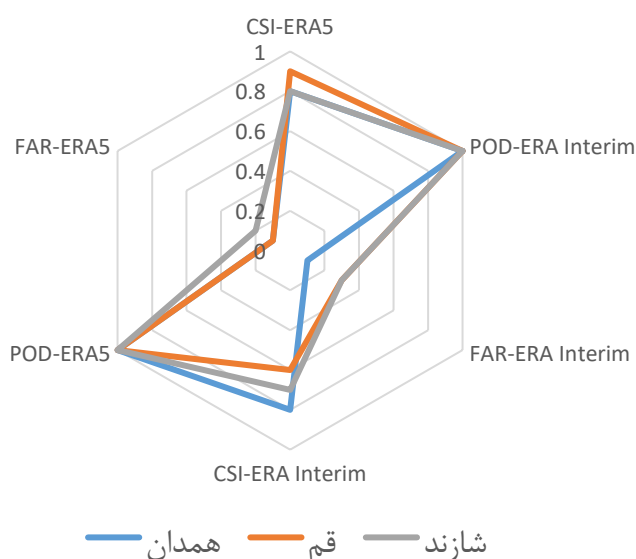


جدول ۲- نتایج معیارهای ارزیابی داده‌های بارش مدل‌های ERA5 و ERA-Interim با دقت مکانی 125×125 / درجه با داده‌های مشاهداتی طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۸ در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

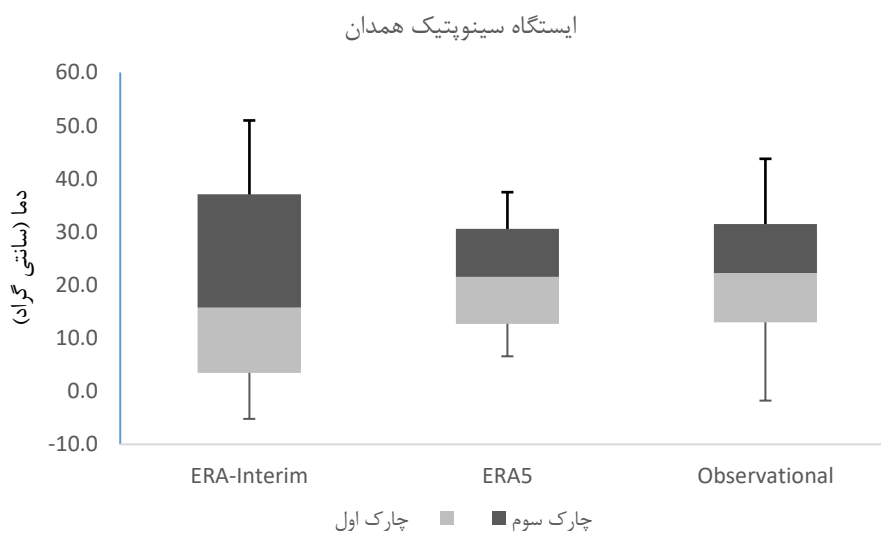
| ایستگاه سینوپتیک همدان | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|
| داده‌های باز تحلیل شده ERA5 | | | | | | | | | | | | | |
| ماه | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Annually |
| Correlation | -۰/۴۴ | -۰/۵۴ | -۰/۵۲ | -۰/۵۹ | -۰/۷۸ | -۰/۴۷ | -۰/۵۴ | -۰/۲۸ | -۰/۷۶ | -۰/۷۷ | -۰/۹ | -۰/۶۶ | -۰/۸ |
| MBE | ۱۲/۹ | ۱۲/۵ | ۲۰/۲ | ۱۵/۶ | ۱۳/۱ | ۲/۳ | -۱/۵ | -۰/۵ | -۰/۴ | -۲/۴ | ۳/۸ | ۲/۴ | ۶/۵۸ |
| NRMSE | -۰/۶ | -۰/۶۴ | -۰/۶ | -۰/۸ | -۰/۸۹ | -۰/۵۶ | ۱/۰۲ | ۱/۱۷ | -۰/۵۸ | -۰/۸۸ | -۰/۴۳ | -۰/۵۱ | -۰/۷۶ |
| NASH | -۰/۶ | -۰/۵ | -۰/۴ | -۰/۴ | -۰/۵ | -۱/۳ | -۰/۲ | -۰/۹ | -۰/۴ | -۰/۵ | -۰/۷ | -۰/۴ | -۰/۵۱ |
| داده‌های باز تحلیل شده ERA-Interim | | | | | | | | | | | | | |
| Correlation | -۰/۵۴ | -۰/۵۳ | -۰/۵۱ | -۰/۴۹ | -۰/۶۶ | -۰/۳۹ | -۰/۳۵ | -۰/۲۱ | -۰/۸۶ | -۰/۸۵ | -۰/۸۶ | -۰/۵۶ | -۰/۸ |
| MBE | ۱۳/۶ | ۱۱/۶ | ۱۸/۷ | ۱۴ | ۶/۲ | -۰/۷ | -۱/۵ | -۰/۵ | -۰/۵ | -۳ | ۵/۵ | ۵/۹ | ۶/۴۹ |
| NRMSE | -۰/۶۴ | -۰/۵۸ | -۰/۶۳ | -۰/۷۱ | -۰/۶۸ | -۰/۷۱ | ۱/۱۸ | ۱/۲۵ | -۰/۳۶ | -۰/۷۵ | -۰/۵۳ | -۰/۶۳ | -۰/۸۱ |
| NASH | -۰/۷۹ | -۰/۲۱ | -۰/۵۵ | -۰/۷۵ | -۰/۱۱ | -۰/۱ | -۰/۹ | -۰/۴ | -۰/۵ | -۰/۶۶ | -۰/۶۷ | -۰/۱۳ | -۰/۴۵ |
| ایستگاه سینوپتیک قم | | | | | | | | | | | | | |
| داده‌های باز تحلیل شده ERA5 | | | | | | | | | | | | | |
| Correlation | -۰/۷۷ | -۰/۸۴ | -۰/۷۵ | -۰/۷۴ | -۰/۶۴ | -۰/۳۹ | -۰/۵۸ | -۰/۰۳ | -۰/۵۴ | -۰/۶۶ | -۰/۸۴ | -۰/۸۵ | -۰/۸۴ |
| MBE | -۱/۵ | -۳/۱ | -۴/۳ | -۰/۶ | ۱/۱ | ۱/۷ | -۰/۱ | -۰/۱ | -۰/۶ | -۰/۳ | -۲/۷ | -۲/۴ | -۰/۹۷ |
| NRMSE | -۰/۴۷ | -۰/۴۶ | -۰/۶ | -۰/۵۲ | -۰/۸ | ۱/۱۹ | -۰/۶۹ | ۱/۰۴ | -۰/۸۶ | -۰/۱ | -۰/۵۶ | -۰/۴۸ | -۰/۷۱ |
| NASH | -۰/۵۸ | -۰/۶۶ | -۰/۴۳ | -۰/۵۱ | -۰/۲۹ | -۰/۰۷ | -۰/۳۱ | -۰/۳ | -۰/۱۵ | -۰/۰۵ | -۰/۶۶ | -۰/۷۲ | -۰/۶۹ |
| داده‌های باز تحلیل شده ERA-Interim | | | | | | | | | | | | | |
| Correlation | -۰/۵۷ | -۰/۷۳ | -۰/۶۳ | -۰/۵۴ | -۰/۴۹ | -۰/۶۶ | -۰/۷۱ | -۰/۰۲ | -۰/۸۰ | -۰/۷۳ | -۰/۸۳ | -۰/۸۸ | -۰/۸ |
| MBE | ۵/۶ | ۱۰/۶ | ۱۲/۸ | ۱۲/۵ | ۴/۹۷ | -۰/۱۹ | ۱/۱ | ۱/۳۰ | -۰/۹۳ | ۴/۸۳ | ۹/۲۸ | ۸/۸۳ | ۶/۱۲ |
| NRMSE | -۰/۷ | -۰/۷۹ | -۰/۹۸ | -۰/۳۸ | -۰/۳۸ | -۰/۷۶ | ۱/۴۵ | -۰/۷۶ | -۰/۶۶ | -۰/۷۲ | -۰/۹۷ | -۰/۶۶ | -۰/۸۹ |
| NASH | -۰/۰۷ | -۰/۰۱ | -۰/۵ | -۱/۳۵ | -۱/۰۴ | -۰/۴ | -۰/۴ | -۱/۵ | -۰/۶ | -۱/۲ | -۰/۰ | -۰/۴۸ | -۰/۲۷ |
| ایستگاه سینوپتیک شازند | | | | | | | | | | | | | |
| داده‌های باز تحلیل شده ERA5 | | | | | | | | | | | | | |
| Correlation | -۰/۲۴ | -۰/۰۴ | -۰/۱۲ | -۰/۳۵ | -۰/۵۸ | -۰/۵۴ | -۰/۱۷ | -۰/۱۴ | -۰/۴۹ | -۰/۵۵ | -۰/۷۳ | -۰/۵۹ | -۰/۷ |
| MBE | ۱۲/۶ | ۱۱/۲ | ۱۶/۴ | ۱۶/۲ | ۵/۴ | -۰/۶ | -۱/۶ | -۰/۶ | -۰/۵ | -۳ | ۵/۷ | ۶ | -۴/۳ |
| NRMSE | -۰/۸۶ | -۰/۷۶ | -۰/۷۹ | -۰/۶۶ | -۰/۸۹ | -۰/۵ | -۰/۸۹ | -۰/۵۸ | -۰/۳۴ | -۰/۵۵ | -۰/۶۸ | -۰/۶۳ | -۰/۸ |
| NASH | -۰/۴۸ | -۰/۶۳ | -۰/۲۲ | -۰/۳ | -۰/۰۱ | -۰/۱۸ | -۴/۲ | -۰/۵۲ | -۰/۲۳ | -۰/۰۶ | -۰/۲۲ | -۰/۱۴ | -۰/۳۶ |
| داده‌های باز تحلیل شده ERA-Interim | | | | | | | | | | | | | |
| Correlation | -۰/۱۵ | -۰/۱۴ | -۰/۱۹ | -۰/۴۱ | -۰/۶۷ | -۰/۴۱ | -۰/۲۳ | -۰/۰۹ | -۰/۶۰ | -۰/۵۴ | -۰/۷۷ | -۰/۶۶ | -۰/۶ |
| MBE | ۱۲/۴۱ | ۱۳/۳۳ | ۱۹/۶۰ | ۱۷/۷۴ | ۱۲/۵۸ | ۲/۲۵ | ۱/۸۷ | -۰/۶ | -۰/۳۹ | ۲/۵۱ | ۳/۹۵ | ۲/۵۲ | -۹/۹ |
| NRMSE | -۰/۸۴ | -۰/۸۱ | -۰/۸۲ | -۰/۶۲ | -۰/۸۸ | -۰/۶ | ۱/۴ | -۰/۳۲ | -۰/۱۶ | -۰/۹۶ | -۰/۵۵ | -۰/۵۳ | -۰/۹۱ |
| NASH | -۰/۴۲ | -۰/۸۳ | -۰/۳ | -۰/۱۳ | -۰/۰۲ | -۰/۰۶ | -۱/۴ | -۱/۲۲ | -۰/۳۵ | -۰/۵ | -۰/۵ | -۰/۴ | -۰/۵ |



شکل ۴- تغییرات بارندگی مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک شازند



شکل ۵- مقادیر شاخص‌های توافقی بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب



شکل ۵- تغییرات آماری مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی دما در ایستگاه سینوپتیک همدان



جدول ۳- نتایج معیارهای ارزیابی داده‌های دما مدل‌های ERA5 و ERA-Interim با دقت مکانی 0.125×0.125 درجه با داده‌های مشاهداتی طی دوره آماری ۱۹۸۷-۲۰۱۹ در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

ایستگاه سینوپتیک همدان

| داده‌های باز تحلیل شده ERA5 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|-------|------|-------|----------|
| ماه | Jan | Feb | Mar | Apr | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct | Nov | Dec | Annually |
| Correlation | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۵ | +۰/۴ | +۰/۶ | +۰/۶ | +۰/۵ | +۰/۹ | +۰/۸ | +۰/۹ | +۰/۹۷ |
| MBE | -۰/۷۸ | -۰/۹۵ | -۱/۲۲ | -۰/۵۹ | +۰/۹۲ | ۲/۴۵ | ۲/۴۳ | ۲/۳۱ | ۱/۹۴ | +۰/۶۶ | -۰/۴ | -۰/۶ | +۰/۵ |
| NRMSE | +۰/۹ | +۰/۶ | +۰/۳ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۲ | +۰/۲ | +۰/۲ | +۰/۲ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۸ | +۰/۲ |
| NASH | +۰/۸ | +۰/۸ | +۰/۴ | +۰/۲۳ | +۰/۰۱ | -۰/۴ | -۰/۱ | -۰/۱ | -۰/۲ | +۰/۶ | +۰/۵ | +۰/۷۳ | +۰/۹۲ |

| داده‌های باز تحلیل شده ERA-Interim | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Correlation | +۰/۹۰ | +۰/۸۴ | +۰/۸۶ | +۰/۸۶ | +۰/۵۴ | +۰/۴۲ | +۰/۶۴ | +۰/۵۷ | +۰/۴۹ | +۰/۸۵ | +۰/۸۵ | +۰/۹۱ | +۰/۸ |
| MBE | -۰/۰۸ | -۰/۴ | -۱/۲ | -۰/۶ | +۰/۴ | ۱/۸ | ۲/۲ | ۲/۴ | ۱/۹ | +۰/۷ | -۰/۲ | -۰/۳ | +۰/۵۵ |
| NRMSE | +۰/۹ | ۱/۰۶ | +۰/۳ | +۰/۰۹ | +۰/۱۲ | +۰/۱۷ | +۰/۱۶ | +۰/۱۸ | +۰/۱۸ | +۰/۱۲ | +۰/۱۲ | +۰/۶۷ | +۰/۳ |
| NASH | +۰/۸ | +۰/۷ | +۰/۴ | +۰/۱۲ | +۰/۲۴ | -۰/۱۶ | -۰/۰۲ | -۰/۱۹ | -۰/۲۱ | +۰/۵۲ | +۰/۷ | +۰/۸ | +۰/۹۲ |

ایستگاه سینوپتیک قم

| داده‌های باز تحلیل شده ERA5 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| Correlation | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۹ | ۱ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۷ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۸ | +۰/۹ | +۰/۹۹ |
| MBE | +۰/۷ | +۰/۹ | ۱/۶ | ۱/۸ | ۱/۹ | ۱/۸ | ۱/۵ | ۱/۸ | ۲ | ۱/۷ | ۱/۱ | +۰/۸ | +۰/۷ |
| NRMSE | +۰/۲ | +۰/۲ | +۰/۲ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۰۰ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۲ | +۰/۱ |
| NASH | +۰/۸ | +۰/۴۲ | +۰/۳۱ | -۱/۵ | -۱/۰۸ | -۱/۳۲ | -۱/۲ | -۱/۲۵ | -۱/۳۸ | -۰/۴ | -۰/۳ | +۰/۳۵ | +۰/۹۷ |

| داده‌های باز تحلیل شده ERA-Interim | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Correlation | +۰/۹۱ | +۰/۹۲ | +۰/۹۲ | +۰/۹۱ | +۰/۸۹ | +۰/۸۹ | +۰/۸۶ | +۰/۶۶ | +۰/۸۴ | +۰/۹۴ | +۰/۸۳ | +۰/۸۳ | +۰/۸۵ |
| MBE | -۰/۲۷ | -۰/۱۹ | -۰/۰۷ | +۰/۱۰ | +۰/۳۱ | +۰/۷۱ | +۰/۸۵ | ۱/۵۳ | ۱/۵۸ | ۱/۲۱ | +۰/۷۴ | +۰/۳۸ | +۰/۵۸ |
| NRMSE | +۰/۲۷ | +۰/۱۴ | +۰/۰۹ | +۰/۰۵ | +۰/۰۴ | +۰/۰۳ | +۰/۰۳ | +۰/۰۶ | +۰/۰۷ | +۰/۰۷ | +۰/۱ | +۰/۱۶ | +۰/۶ |
| NASH | +۰/۸ | +۰/۸ | +۰/۷۵ | +۰/۴۵ | +۰/۶ | +۰/۲ | -۰/۱۲ | -۱/۰۲ | -۱/۴۱ | +۰/۱۵ | +۰/۱۲ | +۰/۴۷ | +۰/۸۸ |

ایستگاه سینوپتیک شازند

| داده‌های باز تحلیل شده ERA5 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|-------|
| Correlation | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۹ | ۱ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۷ | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۸ | +۰/۹ | +۰/۹۴ |
| MBE | -۰/۷۵ | -۰/۹۵ | -۱/۲۲ | -۰/۶ | +۰/۹۴ | ۲/۴۶ | ۲/۴۵ | ۲/۳۳ | ۲ | +۰/۶۸ | -۰/۴ | -۰/۶ | -۱/۰ |
| NRMSE | +۰/۹ | +۰/۹ | +۰/۷ | +۰/۲ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۱ | +۰/۰۰ | +۰/۱ | +۰/۲ | +۰/۴ | +۰/۱ | +۰/۳ |
| NASH | -۱/۸۸ | -۲/۱۱ | -۰/۶۳ | -۰/۱۷ | -۰/۴ | -۱/۷۳ | -۱/۵۵ | +۰/۰۸ | -۱/۰۳ | -۱/۲۷ | -۵/۴ | -۳/۴ | +۰/۸۳ |

| داده‌های باز تحلیل شده ERA-Interim | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Correlation | +۰/۹۰ | +۰/۸۴ | +۰/۸۶ | +۰/۸۶ | +۰/۵۴ | +۰/۴۲ | +۰/۶۴ | +۰/۵۷ | +۰/۴۹ | +۰/۸۵ | +۰/۸۵ | +۰/۹۱ | +۰/۹۳ |
| MBE | -۰/۲۹ | -۰/۲۱ | -۰/۰۶ | +۰/۰۹ | +۰/۳۱ | +۰/۶۹ | +۰/۸۵ | ۱/۵۵ | ۱/۶۳ | ۱/۲۵ | +۰/۷۶ | +۰/۳۹ | ۶/۷۷ |
| NRMSE | +۰/۵۲ | +۰/۸ | +۰/۵۶ | +۰/۰۸ | +۰/۷ | +۰/۵ | +۰/۳ | +۰/۳ | +۰/۳ | +۰/۳ | +۰/۳ | +۰/۷ | +۰/۶۲ |
| NASH | -۱/۱۴ | -۱/۴۵ | -۱/۵ | -۱/۲۸ | -۱/۵۸ | -۱/۸ | -۱/۹۶ | -۱/۶۵ | -۰/۷۹ | -۱/۰۱ | -۱/۷۱ | -۱/۱۵ | +۰/۲ |



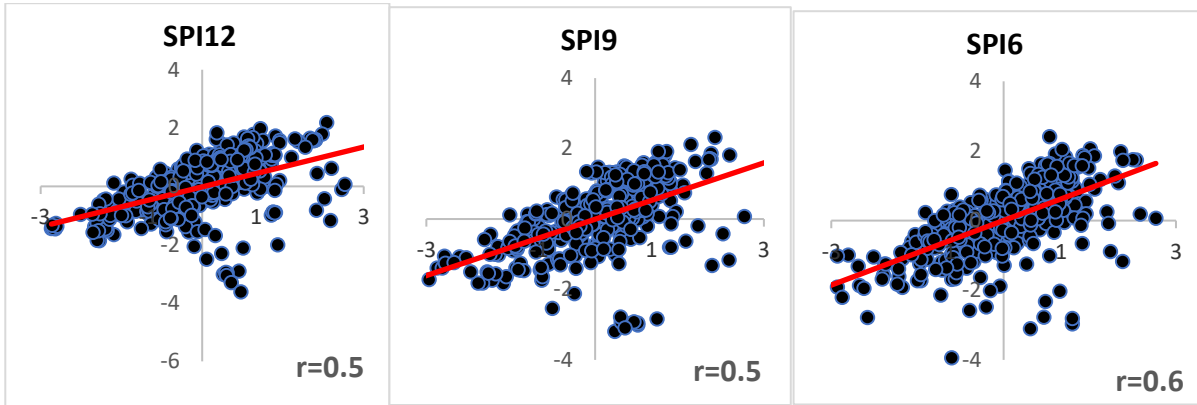
شکل ۶- تغییرات دمای مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک قم



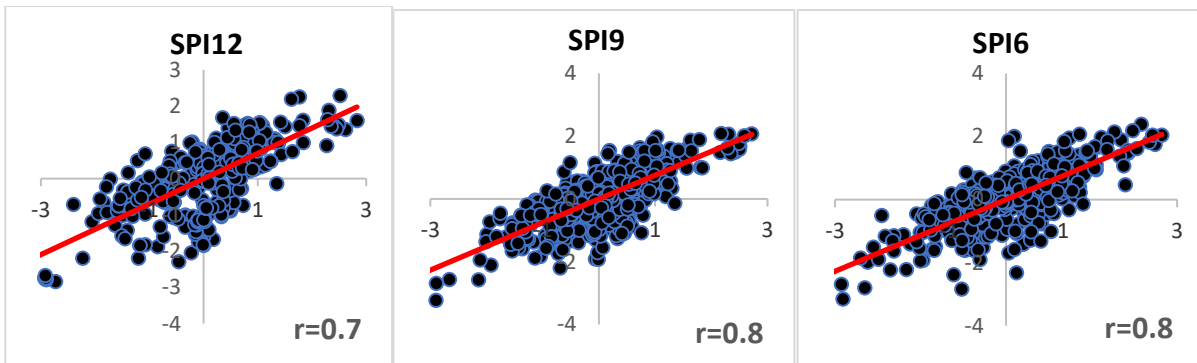
شکل ۷- تغییرات دمای مدل‌های منتخب با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه سینوپتیک شازند

پایش خشکسالی و بررسی روند شدت آن

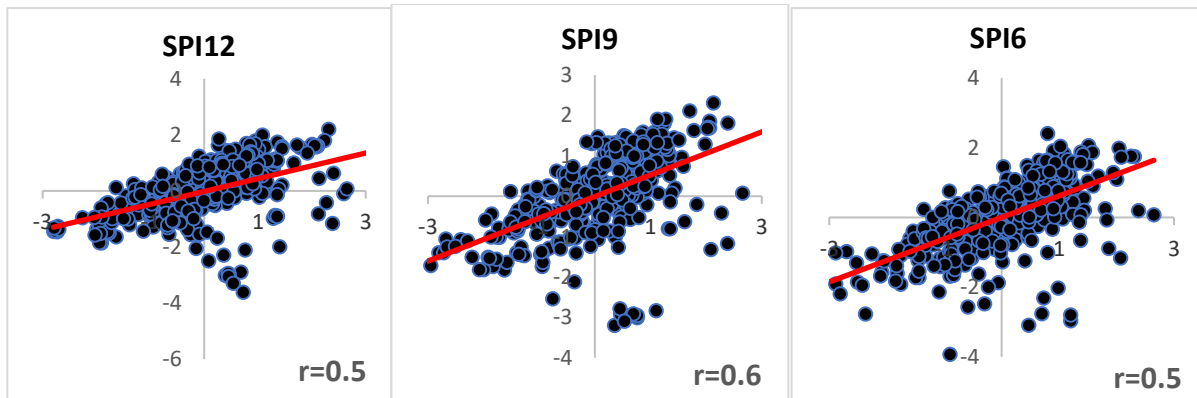
در این مرحله شاخص‌های خشکسالی مذکور برای داده‌های مشاهداتی و مدل ERA^۵ در ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب با مقیاس‌های زمانی مختلف ۶، ۹ و ۱۲ ماهه محاسبه گردید که در اشکال ۸ و ۹ همبستگی آنها ارائه شده است. همانطور که قابل مشاهده است در همه ایستگاه‌های منتخب و مقیاس‌های زمانی در شاخص SPEI همبستگی خوب و بالای ۰/۷ و در شاخص SPI بالای ۰/۵ می‌باشد. همچنین می‌توان گفت با افزایش مقیاس زمانی از ۶ تا ۱۲ ماهه در هر دو شاخص تغییر چندانی در همبستگی وجود ندارد. معیارهای ارزیابی دیگر نشان داد که مقدار خطا (NRMSE) در شاخص SPEI حدوداً بین ۰/۷ تا ۰/۵ و در شاخص SPI بین ۰/۹ تا ۰/۷ است و مقدار اریبی (MBE) در هر دو شاخص منفی که در واقع کم‌برآوردی شاخص بر اساس مدل منتخب را نشان می‌دهد. لذا بر اساس نتایج فوق، شاخص SPEI بعنوان شاخص منتخب تعیین گردید. سپس داده‌های دما و بارندگی ERA^۵ برای کل منطقه مطالعاتی که بر اساس دقت مکانی منتخب (۰/۱۲۵×۰/۱۲۵) شبکه گردید، برای دوره منتخب استخراج شده است و در نهایت تغییرات درازمدت سالانه بارندگی و دما در شکل ۱۰ ارائه شده است. همانطور که قابل مشاهده است در قسمت غربی حوضه بارندگی زیاد و دما پائین و بتدریج به سمت شرق حوضه بارندگی کاهش و دما افزایش یافته است. سپس به عنوان نمونه با استفاده از شاخص SPEI 12، خشکسالی در همه شبکه‌ها طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۷۹ ارزیابی گردید (شکل ۱۱). همانطور که قابل مشاهده است در کل شبکه‌ها روند تغییرات سری زمانی خشکسالی کاملاً هماهنگ و دوره‌های متعدد و متوالی خشکسالی اتفاق افتاده است. بعنوان مثال طی سال‌های ۱۹۸۳ تا ۱۹۸۸ بطور متوسط در منطقه خشکسالی شدید رخ داده است. سپس بر اساس سری زمانی، متوسط خشکسالی در هر شبکه طی دوره منتخب، محاسبه گردید. نتایج نشان داد که خشکسالی شدید (۱/۵- تا ۲-) در کل منطقه رخ داده است و شدت آن از سمت غرب به سمت شرق افزایش می‌یابد. بطوریکه در محدوده مطالعاتی ساوه و نوبران نسبت به کبوتر آهنگ و همدان-بهار خشکسالی شدیدتر شده است که باتوجه به شرایط اقلیمی منطقه کاملاً منطقی می‌باشد. همچنین بخش میانی محدوده شامل کمیجان، قهاوند، بلوک شرا، شازند، لنگرود، نهرمیان و آستانه تقریباً از یک شدت خشکسالی برخوردار می‌باشند. در ادامه بر اساس سری زمانی شاخص SPEI 12، تغییرات Z من کندال برای بررسی روند شدت خشکسالی برای کل شبکه‌ها محاسبه و در شکل ۱۲ ارائه شده است. این متغیر بین بازه ۳/۴۹- تا ۱/۲۴- تغییر می‌نماید که نشان داد برخی از مناطق در سطح ۵ درصد (۱/۹۶-)، روند معنی داری دارند. لذا بطور کلی می‌توان گفت قسمت غربی در مقایسه با قسمت شرقی منطقه مطالعاتی دارای روند افزایشی معنی داری در شدت خشکسالی می‌باشد.



الف-همدان

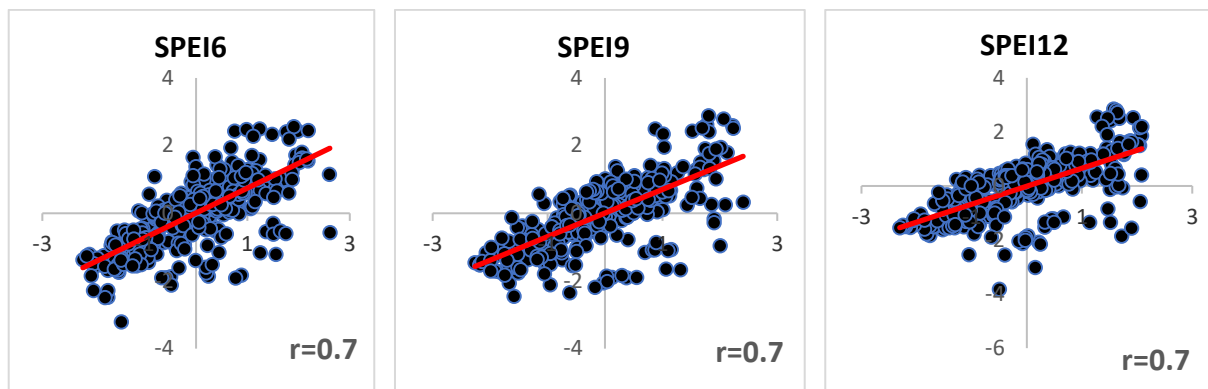


ب-قم

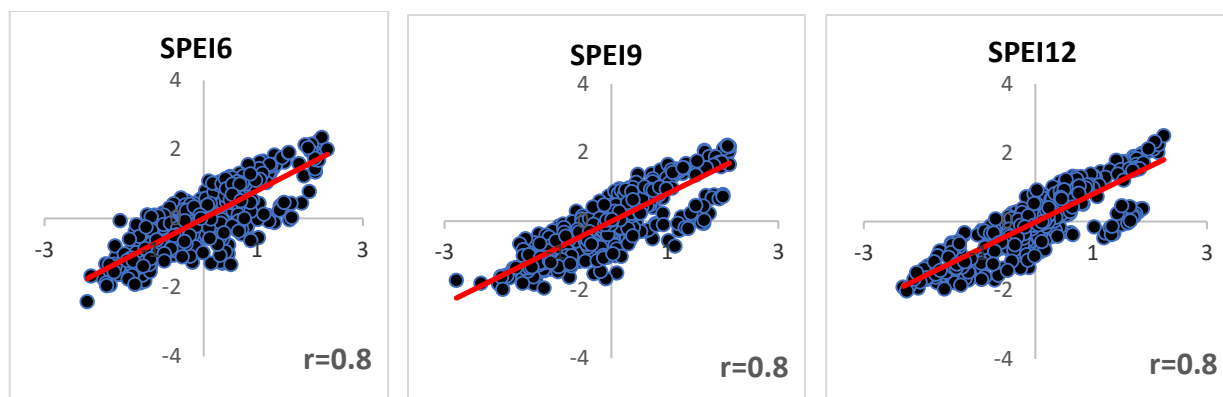


ج-شازند

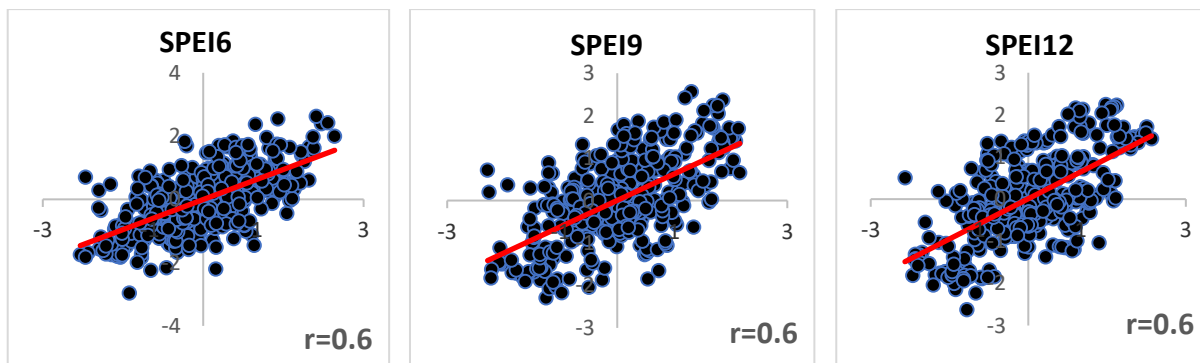
شکل ۸- نمودارهای پراکنش SPIهای مشاهداتی و ERA5



الف-همدان

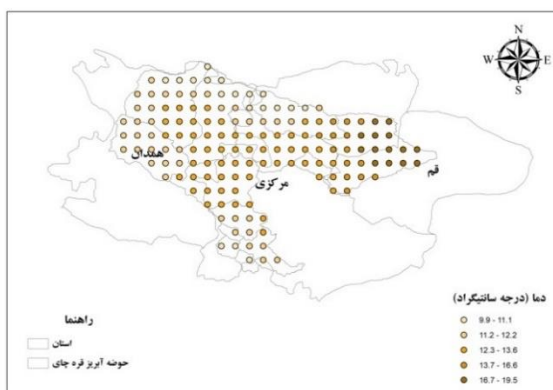
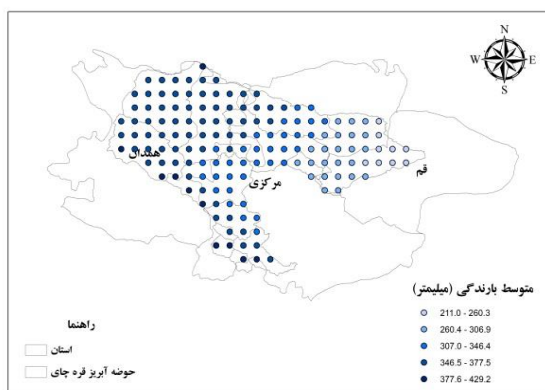


ب-قم

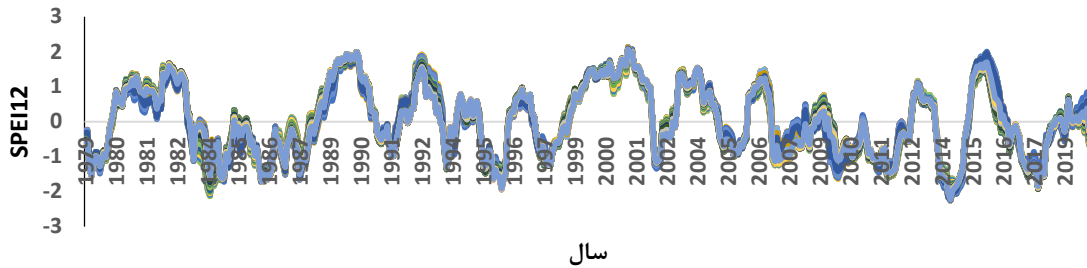


ج-شازند

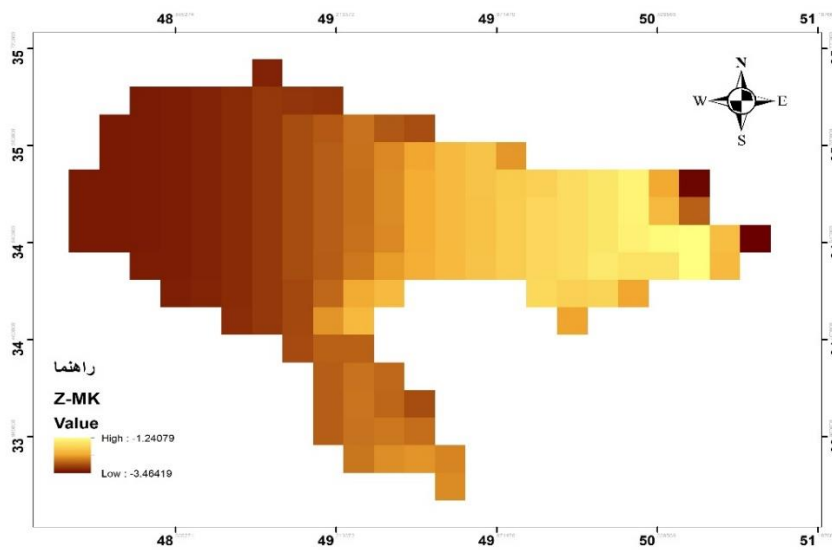
شکل ۹- نمودارهای پراکنش SPEIهای مشاهداتی و ERA5



شکل ۱۰- تغییرات داده‌های شبکه‌ای بارندگی و دما ERA5 در منطقه مطالعاتی طی دوره منتخب



شکل ۱۱- تغییرات شاخص SPEI 12 در شبکه بندی منطقه مطالعاتی طی دوره منتخب



شکل ۱۲- تغییرات متغیر Z من کندال شاخص خشکسالی SPEI 12 در منطقه مطالعاتی

نتیجه گیری

دما و بارش از عناصر اساسی شکل گیری اقلیم هستند که تغییرات آنها میتواند ساختار آب و هوایی هر محل را دگرگون سازد. لذا شناخت و پیش بینی تغییرات متغیرهای اقلیمی از جمله مواردی است که در سالهای اخیر مورد توجه محققین علوم جوی و هیدرولوژی قرار گرفته است. در این پژوهش به ارزیابی ماهانه متغیرهای دما و بارش دو مدل ERA-Interim و ERA5 از پایگاه ECMWF با قدرت تفکیک مکانی 0.125×0.125 درجه و پایش خشکسالی با استفاده از دو شاخص SPEI و SPI در حوزه آبریز قره چای استان مرکزی پرداخته شده است. بدین منظور داده های مدل های مذکور و مشاهداتی برای سه ایستگاه سینوپتیک قم، شازند و همدان طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۷ جمع آوری گردید. نتایج نشان داد که داده های بارش مدل ERA-Interim و ERA5 در ایستگاه های پربارش مشابهت زیاد ولی در ایستگاه های کم بارش داده های ERA5 نسبت به ERA-Interim نتایج بهتری از خود نشان داده است. در مورد دما نیز ERA5 نسبت به ERA-Interim مشابهت بیشتری با داده های مشاهداتی دارد. بطور کلی برآورد دما در هر دو مدل بهتر از بارش انجام شده است که بر اساس این نتایج، مدل ERA5 به عنوان مدل منتخب در مقیاس ماهانه انتخاب گردید. همچنین نتایج بررسی شاخص های خشکسالی بر اساس مدل منتخب و داده های مشاهداتی نشان داد که شاخص SPEI نسبت به شاخص SPI همبستگی بالاتر و خطای کمتری دارد که می توان علت آن را استفاده از هر دو متغیر در محاسبه شاخص دانست. به عبارت دیگر شاخص های چندمتغیره که از تعداد متغیرهای بیشتری در محاسبه خود استفاده می نمایند، از مشابهت بیشتری با مشاهداتی برخوردار هستند. همچنین بررسی روند تغییرات شدت خشکسالی ۴۲ ساله در منطقه نشان داد که در قسمتهای غربی برخلاف قسمت های شرقی روند معنی داری وجود دارد. لذا بطور کلی می توان گفت نتایج کاربردی این پژوهش عبارت از است: ۱-

در مناطق کم بارش داده های ماهانه مدل ERA5 و در مناطق پربارش تفاوت چندانی بین دو مدل ERA-Interim و ERA5 وجود ندارد و هر دو قابل استفاده هستند. ۲- در زمان استفاده از داده های شبکه بندی جهانی برای پایش خشکسالی، استفاده از شاخص دومتغیره SPEI عملکرد بهتری نسبت به SPI که تک متغیره می باشد، دارد. ۳- بر اساس نتایج روند معنی داری افزایشی دما در منطقه بالادست سد الغدير ساوه، بایستی تغییرات رواناب ورودی به سد در اثر تغییر اقلیم را مورد ارزیابی قرار داد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCE

- AghaKouchak, A., Nasrollahi, N., & Habib, E. (2009). Accounting for uncertainties of the TRMM satellite estimates. *Remote Sensing*, 1(3), 606-619
- Amjad, M., Yilmaz, M. T., Yucel, I., & Yilmaz, K. K. (2020). Performance evaluation of satellite-and model-based precipitation products over varying climate and complex topography. *Journal of Hydrology*, 584, 124707.
- Arabi Yazdi, A., Sanaei Nejad, S. H., & Mofidi, A. (2020). Evaluation of Grid reanalysis products of the European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF datasets) in Different Climatic Regions of Iran. *Journal of Climate Research*, 1398(38), 63-76. (In Farsi)
- Azizi Mobaser, J., Rasoulzadeh, A., Rahmati, A., Shayeghi, A., & Bakhtar, A. (2021). Evaluating the Performance of Era-5 Re-Analysis Data in Estimating Daily and Monthly Precipitation, Case Study; Ardabil Province. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(11), 2937-2951. (In Farsi)
- Benoit, A., Jolivet, R., & Pinel-Puysségur, B. (2019). Correction of tropospheric effects in SAR interferometry: a comparison of ERA-Interim, ERA-5 and HRES Global Atmospheric Models.
- Bosilovich, M.G., Chen, Robertson, J. F., & Adler, R.F. (2008). Evaluation of global precipitation in reanalysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47 (9), 2279-2299.
- Darand, M., & Zande Karimi, S. (2015). Evaluation of Spatio-Temporal Accuracy of Precipitation of European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) over Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 47(4), 651-675. (In Farsi)
- Dehban, H., Ebrahimi, K., Araghinejad, S., Bazrafshan, J., & Modaresi, F. (2020). Monthly Stream-flow forecasting using the ECMWF model, case study: Sefidrud Basin-Iran. *Iran-Water Resources Research*, 16(3), 272-281. (In Farsi)
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S. & Vitart, F. (2011). The ERA-Interim reanalysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(656), 553-597.
- Donaldson, R., Dyer, R. & Krauss, M. (1975). Objective evaluator of techniques for predicting severe weather events. *In Bulletin of the American Meteorological*, 56, 755-755.
- Erfani, A., Babaeian, I., & Entezari, A. (2020). ERA-Interim. *Journal of Climate Research*, 1398(38), 77-92.
- Farzaneh, S., Sharifi, M. A., & Akbarzadeh, A. (2020). Investigation of short-term atmospheric mass variations and their effects on geoid height using meteorological data. *Journal of the Earth and Space Physics*, 46(3), 497-515.
- Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from temperature. *Applied Engineering in Agriculture*, 1(2), 96-99.
- Hayes, M. (2000). Drought indices. National Drought Mitigation Center, University of Nebraska.
- Hénin, R., Liberato, M. L., Ramos, A. M., & Gouveia, C. M. (2018). Assessing the use of satellite-based estimates and high-resolution precipitation datasets for the study of extreme precipitation events over the Iberian Peninsula. *Water*, 10(11), 1688.
- Hersbach, H., de Rosnay, P., Bell, B., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C. & Zuo, H. (2018). Operational global reanalysis: progress, future directions and synergies with NWP, ERA Report Series 27, 63 pp.
- Hughes, D., Rodriguez, J., Smith, E. P., Johnson, D. J., Stevenson, H. C., & Spicer, P. (2006). Parents' ethnic-racial socialization practices: a review of research and directions for future study. *Developmental Psychology*, 42(5), 747.
- Hu, Z., & Mallorquí, J. J. (2019). An accurate method to correct atmospheric phase delay for instar with the era5 global atmospheric model. *Remote Sensing*, 11(17), 1969.
- Jiang, C., Xu, T., Wang, S., Nie, W., & Sun, Z. (2020). Evaluation of zenith tropospheric delay derived from ERA5 data over China using GNSS observations. *Remote Sensing*, 12(4), 663.
- Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. New York, NY: Oxford University Press.
- Khosravi Dehkordi, A., Mirabbasi, R., Samadi Boroujeni, H., & Ghasemi Dastgerdi, A. R. (2019). Monitoring and forecasting of groundwater drought in Shahrekord plain using Groundwater Resource Index (GRI) and Markov chain model. *Hydrogeology*, 4(1), 111-125. (In Farsi)
- Lucatero, D., Madsen, H., Refsgaard, J. C., Kidmose, J., & Jensen, K. H. (2018). Seasonal streamflow forecasts in the Ahlergaarde catchment, Denmark: the effect of preprocessing and post-processing on skill and statistical consistency. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(7), 3601-3617.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, 245-259.
- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17:179-183.
- Mishra, A. K., Singh, V. P., & Jain, S. K. (2010). Impact of global warming and climate change on social development. *Journal of Comparative Social Welfare*, 26(2-3), 239-260.
- Moghbel, M. (2021). Evaluation of Accuracy of ECMWF Re-Analysis Data in Estimation of Soil Depths Temperature Changes (Case Study of Tehran). *Journal of Range and Watershed Management*, 74(2), 453-468. (In Farsi)
- Navidi, N. B., Zohrabi, N., Nikbakht, S. A., & Fathian, H. (2021). Evaluation of Global Gridded Precipitation Datasets for Drought Monitoring (Case Study: Great Karoon Watershed). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 10(3), 79-96. (In Farsi)



- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., & van Ypersele, J. P. (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to *the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151).
- Pilpayeh, A., Najafian Ghojehbiglou, D., Saadi, T., & Rahmati, A. (2020). Analysis of drought situation in Iran using ECMWF precipitation product. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 7(3), 0-0. (In Farsi)
- Raziei, T., & Sotoudeh, F. (2017). Investigation of the accuracy of the European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in forecasting observed precipitation in different climates of Iran. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(1), 133-147. (In Farsi)
- Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), 19703-19708.
- Stanski H. R., Wilson, L. J. & Burrows, W. R. (1989). Survey of common verification methods in meteorology. *World Meteorological Organization Geneva*.
- Sue, D. W., Nadal, K. L., Capodilupo, C. M., Lin, A. I., Torino, G. C., & Rivera, D. P. (2008). Racial microaggressions against Black Americans: Implications for counseling. *Journal of Counseling & Development*, 86(3), 330-338.
- Tang, Y., Zhong, S., Luo, L., Bian, X., Heilman, W. E., & Winkler, J. (2015). The potential impact of regional climate change on fire weather in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(1), 1-21.
- Van Hateren T C, Sutanto S J, Van Lanen H A (2019). Evaluating skill and robustness of seasonal meteorological and hydrological drought forecasts at the catchment Scale-Case Catalonia (Spain). *Environment International*, 133:105206
- Wang Q J, Shao Y, Song Y, Schepen A, Robertson D E, Ryu D, & Pappenberger, F. (2019). An evaluation of ECMWF SEAS5 seasonal climate forecasts for Australia using a new forecast calibration algorithm. *Environmental Modelling and Software*, 122:104550
- Worqlul, A. W., Jeong, J., Dile, Y. T., Osorio, J., Schmitter, P., Gerik, T., ... & Clark, N. (2017). Assessing potential land suitable for surface irrigation using groundwater in Ethiopia. *Applied Geography*, 85, 1-13
- Woznicki, SA, Nejadhashemi, AP, Tang, Y. & Wang, L. (2016). Large-scale climate change vulnerability assessment of stream health. *Ecological Indicators*, 69, 578-594.
- Xu, X., Frey, S. K., Boluwade, A., Erler, A. R., Khader, O., Lapen, D. R., & Sudicky, E. (2019). Evaluation of variability among different precipitation products in the Northern Great Plains. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 24, 100608.