



Golestan University



Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University
Vol. 5, No. 19, Autumn 2024



Evaluating ERA5 Reanalysis for Climate Trend Analysis in Sistan and Baluchestan, Iran

Mojtaba Mohammadi^{1*} , Masoomeh Forozanfard² 

¹ Assistant Professor of Desert Management and Control, Faculty of Environmental Sciences, Planning and Sustainable Development, University of Saravan, Saravan, Iran, Email: mohamadi613@gmail.com

² Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Saravan, Saravan, Iran, Email: forozanfard@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2024-5-21
Accepted: 2024-7-4

Keywords:
Data Validation
Mann-Kendall Test
South East of Iran
Climate Change

ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the performance of ERA5 reanalysis data for examining trends in monthly mean temperature and relative humidity in Sistan and Baluchestan province during the period 1980 to 2020. In this study, data from synoptic stations in Sistan and Baluchestan province, including Zahedan, Khash, Saravan, Irandshahr, and Chabahar, were used as reference data. Monthly temperature and relative humidity data from ERA5 with a spatial resolution of 0.25 degrees by 0.25 degrees were also used. To spatially match the data, ERA5 pixels were selected that overlapped with the location of the synoptic stations. To evaluate the agreement between the ERA5 data and the synoptic station data, the coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE), and mean absolute error (MAE) were used. Trend analysis of temperature and relative humidity was performed using the Mann-Kendall test. The results showed a positive correlation between the real and ERA5 data at the studied stations. Trend analysis showed that the dominant trend in this province is warming in most seasons, especially in winter and spring. The average winter temperature in these stations has been increasing at a rate of about 3.0 degrees Celsius per decade. This study showed that ERA5 reanalysis data is reliable for examining trends in monthly mean temperature and relative humidity in Sistan and Baluchestan. However, due to the complexities of weather patterns and the existence of data dispersion, caution is necessary in interpreting the results. The warming of winters in this region is a concern and further research is needed to understand its implications for natural and human systems.

Cite this article: Mohammadi, M., Forozanfard, M. (2024). Evaluating ERA5 Reanalysis for Climate Trend Analysis in Sistan and Baluchestan, Iran. *Journal of the Climate Change research*, 5 (19), 37-54.



©The author(s)

Publisher: Golestan University

Doi: 10.30488/CCR.2024.458748.1218



نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی



فصلنامه علمی دانشگاه گلستان

سال پنجم / شماره مسلسل نوزدهم / پاییز ۱۴۰۳ / صفحات: ۵۴-۳۷



ارزیابی داده‌های بازتحلیل ERA5 به منظور تحلیل روند پارامترهای اقلیم در سیستان و بلوچستان، ایران

مجتبی محمدی^{*۱}، معصومه فروزان فرد^۲

^۱ استادیار گروه مدیریت و کنترل بیابان، دانشکده علوم محیطی، برنامه‌ریزی و توسعه پایدار، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران، رایانامه: mohamadi613@gmail.com

^۲ کارشناس ارشد مرتعداری، دانشگاه سراوان، سراوان، ایران، رایانامه: forozanfard@gmail.com

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۴/۱۴</p> <p>واژه‌های کلیدی: اعتبار سنجی داده‌ها آزمون من-کندال جنوب شرقی ایران تغییر اقلیم</p>	<p>این مطالعه به منظور ارزیابی عملکرد داده‌های بازتحلیل ERA5 برای بررسی روندهای ماهانه میانگین دما و رطوبت نسبی در استان سیستان و بلوچستان در طول دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۲۰ انجام شد. در این مطالعه، از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک زابل، زاهدان، خاش، سراوان، ایرانشهر و چابهار به عنوان داده‌های مرجع استفاده شد. همچنین از داده‌های ماهانه دما و رطوبت نسبی ERA5 با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه در ۰/۲۵ درجه استفاده شد. برای تطبیق مکانی داده‌ها، پیکسل‌های ERA5 انتخاب شدند که با موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک همپوشانی داشته باشند. برای ارزیابی تطابق داده‌های ERA5 با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک از معیارهای ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) استفاده شد. روند تغییرات دما و رطوبت نسبی با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد. نتایج نشان داد که همبستگی مثبتی بین داده‌های مشاهداتی و ERA5 در ایستگاه‌های مورد مطالعه وجود دارد. برای نمونه مقدار بیشترین و کمترین R^2 دمای ماهانه به ترتیب در ایستگاه زاهدان با مقدار (۰/۹۷) و در ایستگاه چابهار با مقدار (۰/۸۸) است. تجزیه و تحلیل روند نشان داد که روند غالب در این استان گرم شدن در اکثر فصول، به ویژه در زمستان و بهار است. دمای متوسط زمستان در این ایستگاه‌ها با سرعت حدود ۰/۳ درجه سانتیگراد در هر دهه در حال افزایش بوده است. این مطالعه نشان داد که داده‌های بازتحلیل ERA5 برای بررسی روندهای ماهانه میانگین دما و رطوبت نسبی در سیستان و بلوچستان قابل اعتماد است. بطوری که مقادیر RMSE و MAE در ایستگاه سینوپتیک زاهدان برای دمای متوسط ماهانه به ترتیب برابر ۵/۸ و ۵/۵۴ است. با این حال، به دلیل پیچیدگی‌های الگوهای آب و هوایی و وجود پراکندگی در داده‌ها، احتیاط در تفسیر نتایج ضروری است. گرم شدن زمستان‌ها در این منطقه نگران‌کننده است و نیاز به تحقیقات بیشتر برای درک پیامدهای آن برای سیستم‌های طبیعی و انسانی وجود دارد.</p>

استناد: محمدی، مجتبی؛ فروزان فرد، معصومه. (۱۴۰۳). ارزیابی داده‌های بازتحلیل ERA5 به منظور تحلیل روند پارامترهای اقلیم در سیستان و بلوچستان، ایران. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۵ (۱۹)، ۵۴-۳۷.

Doi: 10.30488/CCR.2024.458748.1218

ناشر: دانشگاه گلستان
© نویسندگان.



مقدمه

داده‌های دقیق پارامترهای اقلیمی و هواشناسی همچون دما، رطوبت، بارش، سرعت باد و غیره توسط ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی زمینی و ایستگاه‌های همدیدی که اغلب توزیع مکانی پراکنده‌ای دارند، اندازه‌گیری می‌شود. مشاهدات ایستگاه‌های زمینی ثابت هواشناسی به طور کلی قابل اطمینان‌ترین و دقیق‌ترین مجموعه داده‌ها برای مطالعه هر متغیر آب و هوایی هستند (Dinku, 2019). با این حال این ایستگاه‌ها دارای محدودیت‌هایی در زمینه پوشش‌های زمانی و مکانی، نصب و نگهداری هستند، بویژه در مناطق کوهستانی و مناطق خشک و نیمه خشک این محدودیت‌ها بیشتر است. بنابراین استفاده از این داده‌ها برای مطالعاتی که به مجموعه داده‌های با وضوح بالا نیاز دارند، کافی نیستند.

برای مقابله با این مسئله، دانشمندان معمولاً تمایل به استفاده از مجموعه داده‌های شبکه‌ای با وضوح بالا و یا داده‌های بازتحلیلی دارند که در چهار گروه تقسیم می‌شوند: ۱- تخمین داده‌های اقلیمی با ماهواره‌های مرئی/مادون قرمز/مایکروویو با توزیع فضایی پیوسته در مقیاس شبه جهانی، ۲- مجموعه داده‌های اقلیمی شبکه‌ای که از طریق درون‌یابی مشاهدات مبتنی بر داده‌های زمینی تولید می‌شوند، ۳- ترکیب داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های ثبت شده زمینی به منظور تولید داده‌های جدید به نحوی که وضوح مکانی و زمانی را بهبود بخشند. برای این منظور حداقل به ۳۰ سال داده ثبت شده نیاز است (Ashouri et al., 2015)، ۴- مجموعه داده‌های بازتحلیلی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های عددی پیش‌بینی آب و هوا (NWP) (Bosilovich et al., 2015).

به‌طور کلی، محصولات بازتحلیلی دارای مزیت ارائه اطلاعات عمودی اتمسفر هستند (Jiang et al., 2021) این محصولات شامل مجموعه‌ای از متغیرهای جوی مانند بارش، دما، رطوبت و محتوای آب، در سطوح عمودی مختلف اتمسفر هستند (Marques et al., 2009; Ruane et al., 2015; Vousdoukas et al., 2016). این متغیرها از پیشرفته‌ترین سیستم‌های تحلیل/پیش‌بینی

و فعالیت‌های شبیه‌سازی داده‌ها مشتق شده‌اند که مدل‌ها و مشاهدات را از منابع مختلف مانند ماهواره و داده‌های زمینی به هم مرتبط می‌کنند (Bengtsson et al., 2004; Stopa and Cheung, 2014; Xie et al., 2019).

در طول دهه‌های گذشته، چندین مرکز آب‌وهوا، از جمله مرکز اروپا برای پیش‌بینی‌های هوای متوسط (ECMWF) (Marshall, 2000)، مراکز ملی پیش‌بینی محیط‌زیست/مرکز ملی تحقیقات جوی (NCEP/NCAR) (Kalnay, 1996; Kistler et al., 2001) و آژانس هواشناسی ژاپن (JMA) (Kobayashi et al., 2015)، محصولات بازتحلیلی منتشر کرده‌اند که می‌تواند برای تعیین تغییرات پارامترهای هواشناسی در مقیاس جهانی یا منطقه‌ای استفاده شود.

در سال ۲۰۱۷ سرویس تغییر اقلیم کوپرنیک (C3S) در ادامه داده‌های جوی نسل اول: داده‌های اولین آزمایش جهانی برنامه تحقیقاتی جوی جهانی (FGGE) (Boer, 1986)؛ نسل دوم: داده‌های ERA-15 (Sprenger and Wernli, 2003)؛ نسل سوم: داده‌های ERA-40 (Uppala et al., 2005) و نسل چهارم: داده‌های ERA-Interim (Dee et al., 2011)؛ نسل پنجم داده‌های بازتحلیلی جوی جدید ECMWF، موسوم به ERA5 را منتشر کرد.

ERA5 در مقایسه با چهار نسل قبلی، چندین مزیت دارد: (۱) سیستم جذب پیشرفته و طرح‌های پارامترسازی با استفاده از فناوری‌های جذب داده‌های 4D-Var که در چرخه مدل (Cy4Ir2) و طرح‌های پارامترسازی بهبودیافته (مانند طرح‌های تابش و همرفت) انجام شده‌اند، تولید می‌شود (Hersbach et al., 2020). (۲) وضوح مکانی-زمانی بالاتر؛ بطوری که داده‌های متغیرهای جوی با مقیاس زمانی ساعتی را با وضوح افقی ۰/۲۵ درجه در دسترس است (Karl and Michela, 2019)؛ (۳) قابلیت دریافت پارامترهای بسیار زیاد؛ بطوری که بیش از ۲۴۰ پارامتر در دسترس است (Jiang et al., 2021).

اخیراً، مطالعات متعددی دقت ERA5 را در مقیاس‌های زمانی-مکانی مختلف تأیید کرده‌اند (Amjad et al., 2020)؛ مجموعه داده‌های GPM-

۲۰۱۵ میلادی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که برآوردهای دمای میانگین و دمای بیشینه خطای کمتری دارند و بین داده‌های مشاهده‌ای با داده‌های ERA-5 همبستگی بالایی وجود دارد. همینطور داده‌های ERA-5 به خوبی توانسته روند تغییرات زمانی متغیرهای مختلف را در ایستگاه‌های منتخب شبیه سازی کنند. خانیانی و محمدی (۱۴۰۱)، پتانسیل پارامترهای فشار سطح دریا، دما در تراز ۲ متر، فشار سطح دریا، سرعت باد در تراز ۱۰ متر از سطح زمین و دمای نقطه شبنم باز تحلیلی ERA5-Land؛ ویسی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی ارزیابی عملکرد دو پایگاه داده WaPOR و ERA5 به منظور برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر پرداختند. در تمامی این موارد نتایج از عملکرد مناسب پایگاه داده‌های اقلیمی را نشان داده است. جوانشیری و همکاران (۲۰۲۳) داده‌های بازتحلیل دمای میانگین پایگاه‌های اقلیمی، ERA-5، MERRA-2، CFS-v2 را با استفاده از داده‌های ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری (۲۰۲۰-۱۹۹۱) در ۶ ناحیه معرف تنوع اقلیمی در کشور، با استفاده از شاخص‌های آماری مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد به طور کلی عملکرد پایگاه داده‌های ERA-5 در برآورد دمای میانگین، بر اساس هفت شاخص محاسبه شده، بیشتر از MERRA-2 و CFS-v2 است.

حیدری و همکاران (۲۰۲۳)، دمای ایران را براساس نسخه‌های قطعی و احتمالاتی مجموعه داده باز تحلیل ERA-ECMWF۵ که جایگزین بازتحلیل Interim-ERA است را مورد بررسی قرار دادند. برای بررسی تاثیر تفکیک افقی در برونداد داده‌های ERA۵، از دو تفکیک ۰/۲۵ و ۰/۵ درجه قوسی از نسخه‌های قطعی و احتمالاتی ERA ۵ برای بررسی میانگین دمای هوا بر روی کشور ایران استفاده نمودند. نتایج نشان داد ERA ۵ توزیع فضایی میانگین دما را در ایران به درستی برآورد می‌کند. با اینحال در عرض‌های جغرافیایی بالا و مناطقی با توپوگرافی پیچیده کارایی ERA ۵ در برآورد دما نسبت به مناطق خشک و نیمه خشک داخلی کمتر است.

استان پهناور سیستان و بلوچستان، با موقعیت جغرافیایی منحصر به فرد خود، از دیرباز با چالش کمبود

ERA5، ERA5 و TMPA42V7 را با داده‌های بارش ثبتی ۲۵۶ ایستگاه زمینی توزیع شده در ترکیه مقایسه کرد و دریافت که (۱) GPM-IMERGV07 عملکرد خوبی در مقیاس‌های زمانی مختلف داشت، (۲) همه مجموعه داده‌ها بارش روزانه را بیش از حد تخمین زدند، (۳) ERA5 عملکرد بسیار بهتری نسبت Erainterim داشته است. Malayeri et al. (2021) داده‌های بارندگی بازتحلیلی ERA5 را برای ایران از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ در مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه با داده‌های واقعی زمین ارزیابی نمودند، نتایج نشان داد که داده‌های ERA5 در اکثر مناطق ایران به جز مناطق شمال غرب عملکرد خوبی دارند و روش تصحیح بایاس خطاها را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که داده‌های ERA5 می‌تواند به عنوان جایگزینی برای داده‌های حقیقت زمینی برای ایران استفاده شود.

Yilmaz (2023) روند تغییرات فصلی و مکانی-زمانی روند دمایی و دقت مجموعه داده‌های ERA5 و ERA5-Land را با مشاهدات زمینی در ترکیه از سال ۱۹۵۱ تا ۲۰۲۰ مقایسه نمودند. یافته‌ها نشان داد که مجموعه داده‌های ERA5 و ERA5-Land به جز برخی تفاوت‌ها به دلیل داده‌های از دست رفته و بهبود مدل، دارای روندهای سازگار و قابل اعتماد هستند. این پژوهش نشان داد که مجموعه داده‌های ERA5 و ERA5-Land می‌توانند به عنوان جایگزین مشاهدات برای مطالعه تغییرات آب و هوا در ترکیه استفاده شوند. Oduro et al. (2024) پنج مجموعه داده دمای جهانی (GTD) شامل TS4.05 CRU؛ MERRA-2؛ CPC؛ ERA-5؛ TerraClimate را با داده‌های مشاهدات زمینی در غنا از سال ۱۹۸۱ تا ۲۰۲۰ مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که GTDها سوگیری‌ها و همبستگی‌های متفاوتی با داده‌های زمینی دارند و CRU، CPC و TerraClimate قابل اعتمادترین مجموعه برای غنا هستند. در ایران نیز عربی یزدی و همکاران (۱۳۹۸) دقت مقادیر روزانه متغیرهای دما و بارش داده ERA-5 از پایگاه ECMWF را با استفاده از داده‌های مشاهداتی پنج ایستگاه سینوپتیک در مناطق مختلف کشور با اقلیم‌های متنوع، در دوره ۲۰۱۷

استفاده برای ایستگاه سینوپتیک زاهدان را نشان می‌دهد.

پایگاه داده ERA5: ERA5 یک مجموعه داده یاز تحلیلی جوی جهانی است که برآوردهای ساعتی متغیرهای مختلف آب و هوا را از سال ۱۹۴۰ تا کنون ارائه می‌دهد. این پایگاه داده توسط سرویس تغییر اقلیم کوپرنیک (C3S) در مرکز اروپایی پیشبینی‌های میانمدت جوی (ECMWF) تولید شده است. ERA5 زمین را بر روی یک شبکه ۳۰ کیلومتری پوشش می‌دهد و جو را با استفاده از ۱۳۷ سطح عمودی از سطح زمین تا ارتفاع ۸۰ کیلومتری پوشش می‌دهد. ERA5 همچنین شامل اطلاعاتی در مورد عدم قطعیت برای همه متغیرها در وضوح‌های مکانی و زمانی کاهش یافته است. ERA5 یکی از جامع‌ترین و دقیق‌ترین مجموعه داده‌های تجزیه و تحلیل مجدد موجود برای تحقیقات و کاربردهای آب و هوایی است

داده‌های پایگاه اطلاعاتی ECMWF بطور کاربردی از سال ۱۹۷۹ با پوشش سراسری ۶۰ درجه شمالی تا ۶۰ درجه جنوبی، تفکیک مکانی 0.125×0.125 ، 0.25×0.25 و 0.4×0.4 تا ۳ درجه و در مقیاس زمانی ساعتی، روزانه و ماهانه در دسترس است. در این پژوهش از داده‌های ماهانه دما و رطوبت نسبی و با تفکیک مکانی 0.25×0.25 استفاده شده است. برای این منظور پیکسل‌های مورد نظر به نحوی انتخاب گردید که با موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مشاهداتی همپوشانی و انطباق مکانی داشته باشند.

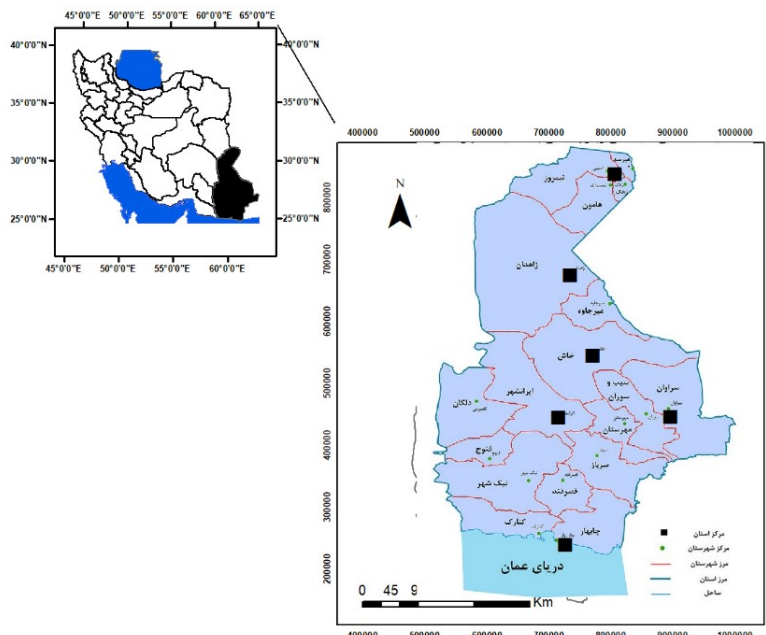
ایستگاه‌های اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی و اقلیمی روبرو بوده است. این امر نه تنها بر مطالعات علمی و پژوهشی در این حوزه اثر منفی گذاشته، بلکه برنامه‌ریزی‌های مربوط به مدیریت منابع آب، کشاورزی، و سایر حوزه‌های مرتبط را نیز با دشواری مواجه کرده است. علاوه بر کمبود ایستگاه‌های موجود، طول دوره آماری داده‌های ثبت شده در این ایستگاه‌ها نیز به طور قابل توجهی کوتاه است. این امر بر دقت و اعتبار تحلیل‌های آماری انجام شده بر پایه این داده‌ها تأثیر منفی می‌گذارد و امکان انجام مطالعات بلندمدت و جامع را محدود می‌کند. در چنین شرایطی، استفاده از محصولات ماهواره‌ای و شبکه‌های داده‌ای موجود به عنوان راه حلی کارآمد و مؤثر، ضروری به نظر می‌رسد. از این رو در پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی داده‌های اقلیمی بازتحلیلی ERA5 در استان سیستان و بلوچستان، به مقایسه این داده‌ها با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک و بررسی و کارایی داده‌های اقلیمی بازتحلیلی ERA5 پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: در این پژوهش از داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان شامل زابل، زاهدان، خاش، سراوان، ایرانشهر و چابهار در طول دوره آماری ۱۹۸۰-۲۰۱۹ به‌عنوان مقادیر مشاهداتی استفاده گردید. شکل ۱ موقعیت ایستگاه سینوپتیک و جدول (۱) مشخصات پارامترهای مورد

جدول ۱- مشخصات آماری پارامترهای هواشناسی در ایستگاه سینوپتیک زاهدان

ضریب تغییرات	انحراف معیار	متوسط	بیشینه	کمینه	داده هواشناسی
0.37	7.6	20.6	32.2	4.3	متوسط دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد)
0.26	7.4	28.5	39.3	11	بیشینه دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد)
0.57	6.8	12	22.6	-4	کمینه دمای ماهانه (درجه سانتی‌گراد)
0.23	0.7	3.2	6.17	1.2	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)
0.47	12.2	26.1	70.3	9.6	متوسط رطوبت نسبی (درصد)
0.42	17	40.7	90.3	16	بیشینه رطوبت نسبی (درصد)
0.52	7.5	14.4	48.7	4.7	کمینه رطوبت نسبی (درصد)
2.08	10.5	5	85.4	0	مجموع بارش ماهانه (میلی‌متر)
0.49	134.08	275.97	526.90	2.20	مجموع ماهانه تبخیر از تشت (میلی‌متر)



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک در استان سیستان و بلوچستان و ایران

می‌دهد. این نمودار، به جای تمرکز بر هر نقطه داده به تنهایی، تراکم نقاط داده در هر ناحیه از نمودار را با شدت رنگ نشان می‌دهد. به این ترتیب، رنگ‌های تیره‌تر نشان‌دهنده تراکم بیشتر نقاط داده در آن ناحیه خاص هستند.

بررسی روند پارامترها: پس از تأیید صحت و دقت مطلوب داده‌های اقلیمی پایگاه داده ERA5، به بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و رطوبت نسبی در پیکسل‌های منتخب با استفاده از داده‌های اقلیمی این پایگاه پرداخته شد. در این راستا، از روش ناپارامتری من-کندال بهره گرفته شد.

روش ناپارامتری من-کندال (Mann - Kendall): در این روش داده‌ها به ترتیب زمان وقوع مرتب می‌شوند و هر داده با تمام داده‌های بعد از خود مقایسه می‌شود. مراحل انجام این آزمون به این ترتیب است که ابتدا آماره S از رابطه‌های (۱ و ۲) محاسبه می‌گردد. برای متغیرهای تصادفی مستقل و دارای توزیع یکنواخت و بدون گره ۱ (دو یا چند داده با مقادیر عددی مساوی که در یک سری مرتب شده به دنبال هم قرار می‌گیرند) میانگین و واریانس S طبق رابطه‌های (۳ و ۴) محاسبه می‌شود.

معیارهای ارزیابی: در این مطالعه به منظور ارزیابی داده‌های ERA5 با داده‌های مشاهداتی ایستگاه‌های سینوپتیک از معیارهای ارزیابی ضریب تعیین، ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق استفاده گردید. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE): این مقدار میانگین بزرگی اختلاف بین تخمین‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های واقعی ایستگاه سینوپتیک را نشان می‌دهد. RMSE پایین‌تر نشان‌دهنده توافق بهتر بین دو مجموعه داده است. میانگین خطای مطلق (MAE): این مقدار میانگین اختلاف مطلق بین تخمین‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های ایستگاه سینوپتیک را، صرف نظر از جهت مثبت یا منفی، نشان می‌دهد. MAE پایین‌تر نشان‌دهنده توافق بهتر بین دو مجموعه داده است. ضریب تعیین (R^2): این مقدار قدرت و جهت رابطه خطی بین تخمین‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های ایستگاه سینوپتیک را اندازه‌گیری می‌کند. R^2 بالاتر نشان‌دهنده همبستگی قوی‌تر بین دو مجموعه داده است. افزون بر ارزیابی با استفاده از معیارهای ارزیابی از نمودار smoothScatter نیز برای درک کامل‌تر در طول دوره آماری (۱۹۸۰-۲۰۲۰) نیز استفاده گردید. تابع smoothScatter به جای نمایش هر نقطه داده به صورت مجزا، تصویری از توزیع کلی داده‌ها را ارائه

^۱ Tie

و درصد رطوبت نسبی ماهانه پایگاه داده‌های اقلیمی ERA5 برای شش ایستگاه سینوپتیک زاهدان، زابل، خاش، ایرانشهر، سراوان و چابهار با استفاده از معیارهای ارزیابی RMSE، MAE و R^2 پرداخته شد. نتایج معیارهای ارزیابی برای داده‌های دمایی متوسط ماهانه در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس نتایج جدول (۲) در ایستگاه سینوپتیک زاهدان پایگاه داده‌های اقلیمی ERA5 دقت بالایی در تخمین دمایی سالانه متوسط در زاهدان دارد. بطوری که مقادیر RMSE و MAE پایین (به ترتیب برابر ۵/۸ و ۵/۵۴) و R^2 بالا (۰/۹۷) نشان‌دهنده توافق قوی بین داده‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های ایستگاه سینوپتیک زاهدان است. در ایستگاه سینوپتیک زابل دقت ERA5 کمی پایین‌تر از زاهدان است. RMSE و MAE بالاتر (به ترتیب برابر ۹/۹ و ۹/۶) نشان‌دهنده اختلافات بیشتر بین تخمین‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های ایستگاه سینوپتیک است. با این حال، R^2 بالا (۰/۹۶) نشان‌دهنده همبستگی قوی بین دو مجموعه داده است. در ایستگاه سینوپتیک خاش دقت ERA5 مشابه زاهدان است. RMSE و MAE پایین (به ترتیب برابر ۷/۳ و ۷) و R^2 بالا (۰/۹۷) نشان‌دهنده توافق قوی بین داده‌های ERA5 و داده‌های واقعی ایستگاه سینوپتیک است. دقت ERA5 در ایرانشهر به طور قابل توجهی پایین‌تر از سایر ایستگاه‌ها است. RMSE و MAE بالا (به ترتیب برابر ۱۳/۱۴ و ۱۲/۹) نشان‌دهنده اختلافات قابل توجهی بین تخمین‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های ایستگاه سینوپتیک است. با این حال، R^2 بالا (۰/۹۷) نشان‌دهنده همبستگی قوی بین دو مجموعه داده است. دقت ERA5 در ایستگاه سراوان مشابه زاهدان است. RMSE و MAE پایین (به ترتیب برابر ۸/۲۴ و ۸) و R^2 بالا (۰/۹۷) نشان‌دهنده توافق قوی بین داده‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های ایستگاه سینوپتیک است. دقت ERA5 در چابهار به طور قابل توجهی پایین‌تر از سایر ایستگاه‌ها به جز ایرانشهر است. RMSE و MAE بالا (به ترتیب برابر ۱۱/۷ و ۱۱/۴۵) نشان‌دهنده اختلافات قابل توجهی بین تخمین‌های ERA5 و اندازه‌گیری‌های ایستگاه

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_i - x_j) \quad (1)$$

$$\text{sign}(\theta) = \begin{cases} 1 & \text{if } \theta > 0 \\ 0 & \text{if } \theta = 0 \\ -1 & \text{if } \theta < 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$E(S) = 0 \quad (3)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} = \sigma^2 \quad (4)$$

و اگر در سری داده‌ها گره وجود داشته باشد، مقدار واریانس از رابطه (۵) محاسبه خواهد شد. به گونه‌ای که t_i تعداد گره با ظرفیت i را نشان می‌دهد. برای مثال اگر در یک سری داده، فقط دو عدد با مقادیر مساوی وجود داشته باشد، یک گره با ظرفیت دو ($t_2=1$) خواهیم داشت.

$$S = \frac{n(n-1)(2n-5) \sum_{i=1}^n t_i(i-1)(2i-5)}{18} \quad (5)$$

اگر تعداد داده‌های یک سری بیش از ۱۰ عدد باشد S از توزیع نرمال تبعیت خواهد کرد و مقدار معیار آماری استاندارد (Z) از رابطه (۶) بدست می‌آید.

$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S > 0 \\ 0 & \text{if } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{if } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

بنابراین در یک آزمون دوطرفه برای تشخیص روند در سطح اعتماد α فرض صفر رد خواهد شد اگر مقدار Z_s بزرگتر یا مساوی Z جدول باشد. برای بررسی روند سری‌ها، چنانچه مقادیر مطلق Z به دست آمده از آزمون من-کندال از عدد ۱/۹۶ بزرگتر باشد، آنگاه روند سری‌ها در سطح ۹۵ درصد معنی دار خواهد بود و چنانچه از عدد ۲/۵۶ بزرگتر باشد، آنگاه در سطح ۹۹ درصد معنی دار خواهد بود (Mann, Kendall, 1975).
(; Kendall, 1975)

نتایج و بحث

نتایج بررسی ارزیابی داده‌های ERA5: در این پژوهش به ارزیابی دقت داده‌های دمایی متوسط ماهانه

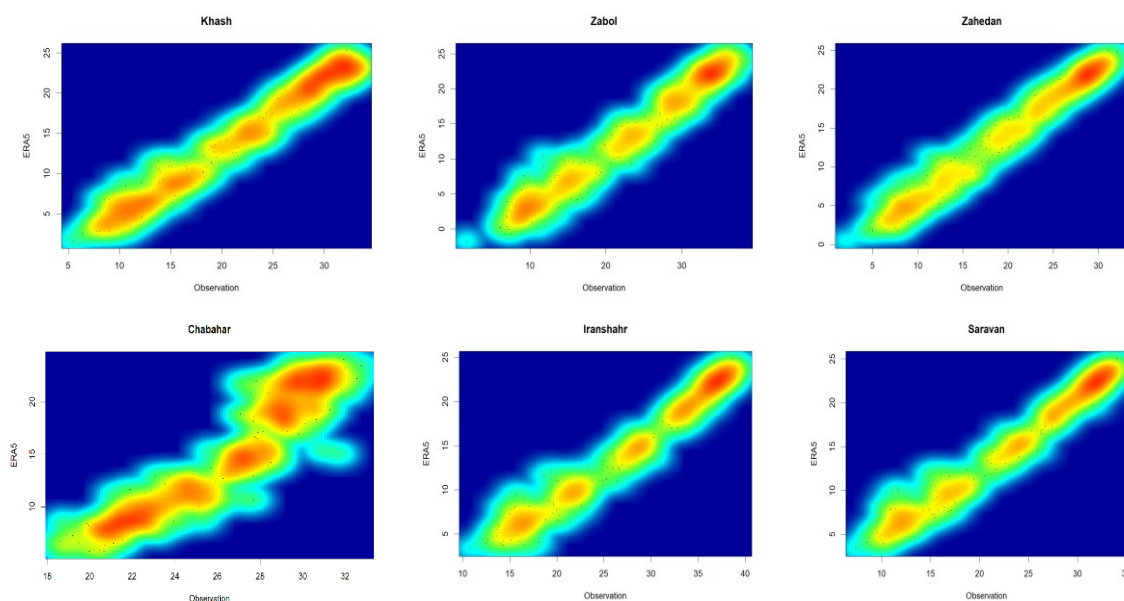
پراکنده در خارج از نوار اصلی مورب وجود دارد، به خصوص در گوشه‌های پایین سمت چپ و بالا سمت راست. این می‌تواند نشان‌دهنده (۱) مقادیر پرت (Outliers): نقاط داده‌ای که به طور قابل توجهی از روند کلی منحرف می‌شوند. و (۲) تغییرات فصلی: ممکن است دماها در فصول خاص از روند اصلی منحرف شوند. به عنوان مثال، در تابستان، دمای واقعی ممکن است از برآوردهای ERA5 بیشتر باشد، در حالی که در زمستان ممکن است برعکس باشد. بنابراین نتایج معیارهای ارزیابی (جدول ۲) و تفسیر نمودار smoothScatter (شکل ۲) نشان‌دهنده همبستگی مثبت کلی بین دمای واقعی و داده‌های ERA5 در ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۱۹۸۰-۲۰۲۰ است. با این حال، برخی از مقادیر پرت و تغییرات فصلی احتمالی وجود دارد که باید در نظر گرفته شود.

سینوپتیک است. همچنین R^2 پایین‌تر (۰/۸۸) نشان‌دهنده همبستگی ضعیف‌تر بین دو مجموعه داده است.

نتایج ارزیابی با استفاده از نمودار smoothScatter در شکل (۲) آورده شده است. نمودار پراکنش داده‌های واقعی و داده‌های ERA5 را در ایستگاه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. این تصاویر نشان می‌دهد که اکثر نقاط داده در یک نوار مورب از پایین سمت چپ (دمای واقعی پایین، داده‌های ERA5 پایین) تا بالا سمت راست (دمای واقعی بالا، داده‌های ERA5 بالا) متمرکز شده‌اند. این نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین دمای واقعی و داده‌های ERA5 است. به عبارت دیگر، با افزایش دمای واقعی، داده‌های ERA5 نیز تمایل به افزایش دارند. شدت رنگ در امتداد نوار مورب نسبتاً یکنواخت است، که نشان‌دهنده رابطه ثابتی بین دو متغیر برای اکثر دماها است. برخی از نقاط داده

جدول ۲- نتایج ارزیابی داده‌های دمای متوسط ماهانه ERA5 با داده‌های ایستگاه سینوپتیک

Chabahar	Saravan	Iranshahr	Khash	Zabol	Zahedan	
11.70	8.24	13.14	7.30	9.90	5.80	RMSE
11.45	8.01	12.90	7.08	9.60	5.54	MAE
0.88	0.97	0.97	0.97	0.96	0.97	R2



شکل ۲- نمودار smoothScatter برای دمای متوسط ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک

(زاهدان، زابل، خاش، ایرانشهر، سراوان و چابهار پرداخته شد. نتایج در جدول (۳) ارائه شده است.

در ادامه به بررسی ارزیابی دقت داده‌های ERA5 با داده‌های رطوبت نسبی در شش ایستگاه سینوپتیک

بالا سمت راست (رطوبت نسبی واقعی بالا، داده‌های ERA5 بالا) مشاهده می‌شود. این نشان‌دهنده همبستگی مثبت بین رطوبت نسبی واقعی و داده‌های ERA5 در زاهدان است. همچنین تراکم نقاط داده در امتداد نوار مورب نسبتاً یکنواخت است، که نشان‌دهنده رابطه ثابتی بین دو متغیر برای اکثر مقادیر رطوبت است. بنابراین باتوجه به ضریب R^2 برابر $0/83$ و RMSE برابر $5/7$ نشان‌دهنده تناسب قوی و دقت نسبتاً بالا بین رطوبت نسبی واقعی و داده‌های ERA5 در زاهدان است. هرچند که نمودار smoothScatter روشن نمود که پراکندگی برخی نقاط داده در خارج از نوار مورب، نشان‌دهنده مقادیر پرت و تغییرات فصلی احتمالی در این ایستگاه است.

در ایستگاه زابل: در حالی که نمودار smoothScatter نشان‌دهنده تراکم نقاط داده در محدوده پایین تا میانی است و R^2 برابر $0/75$ همبستگی قوی بین رطوبت نسبی واقعی و برآوردهای ERA5 را نشان می‌دهد، RMSE برابر $10/70$ نشان‌دهنده عدم دقت قابل توجه مدل در برآورد مقادیر واقعی رطوبت نسبی در زابل است. پراکندگی نقاط داده در نمودار، به خصوص در مقادیر رطوبت بالاتر، این موضوع را تأیید می‌کند. بطور کلی می‌توان بیان داشت که با وجود همبستگی قوی بین رطوبت نسبی واقعی و برآوردهای ERA5 در ایستگاه زابل، RMSE بالا نشان می‌دهد که دقت مدل در برآورد مقادیر واقعی رطوبت نسبی ایده‌آل نیست. پراکندگی نقاط داده در نمودار، به خصوص در مقادیر رطوبت بالاتر، این موضوع را تأیید می‌کند.

در ایستگاه خاش: در نمودار، تراکم قابل توجهی از نقاط داده در ناحیه پایین تا میانی نمودار مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که اکثر مقادیر رطوبت نسبی واقعی در خاش در این محدوده قرار دارند و برآوردهای ERA5 مربوطه تمایل به پایین‌تر یا مشابه بودن دارند. پراکندگی نقاط داده در سراسر نمودار، تا حدودی مشابه نمودار زابل، نشان‌دهنده تنوع در مقادیر رطوبت نسبی و وجود مقادیر پرت (Outliers)

نتایج نشان داد که بر اساس معیار RMSE، ایستگاه‌های زاهدان و چابهار کمترین RMSE را دارند (به ترتیب $5/7$ و $6/86$) که نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل ERA5 در پیش‌بینی رطوبت نسبی در این دو ایستگاه است. ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر بیشترین RMSE را دارند (به ترتیب $10/7$ و $6/86$) که نشان‌دهنده دقت کمتر مدل در پیش‌بینی رطوبت نسبی در این دو ایستگاه است. بر اساس معیار MAE، ایستگاه‌های زاهدان و سراوان کمترین MAE را دارند (به ترتیب $4/23$ و $3/6$) که نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل در پیش‌بینی رطوبت نسبی در این دو ایستگاه است. ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر بیشترین MAE را دارند (به ترتیب $8/70$ و $5/10$) که نشان‌دهنده دقت کمتر مدل در پیش‌بینی رطوبت نسبی در این دو ایستگاه است. بر اساس معیار R^2 ، خاش و زاهدان بالاترین R^2 را دارند (به ترتیب $0/85$ و $0/83$) که نشان‌دهنده تناسب قوی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده در این دو ایستگاه است. ایستگاه‌های چابهار و ایرانشهر کمترین R^2 را دارند (به ترتیب $0/64$ و $0/64$) که نشان‌دهنده تناسب ضعیف‌تر بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده در این دو ایستگاه است. به‌طور کلی، نتایج نشان می‌دهد که دقت مدل ERA5 در پیش‌بینی رطوبت نسبی در ایستگاه‌های زاهدان، خاش و سراوان بیشتر از سایر ایستگاه‌های مورد بررسی است. در حالی که دقت مدل در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر پایین‌تر است. برای بررسی جزئی‌تر نمودارهای پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده برای هر ایستگاه ترسیم و تفسیر گردید. از این رو در ادامه افزون بر ارزیابی با استفاده از معیارهای ارزیابی از نمودار smoothScatter نیز برای درک کامل‌تر در طول دوره آماری (۱۹۸۰-۲۰۲۰) نیز استفاده گردید. نتایج در شکل (۳) ارائه شده است. این نمودار رابطه بین رطوبت نسبی واقعی (محور x) و داده‌های ERA5 (محور y) را نشان می‌دهد. **در ایستگاه زاهدان:** در این نمودار، نوار مورب مشخصی از پایین سمت چپ (رطوبت نسبی واقعی پایین، داده‌های ERA5 پایین) به

نسبی واقعی در چابهار در این محدوده قرار دارند و برآوردهای ERA5 مربوطه تمایل به پایین‌تر یا مشابه بودن دارند. پراکندگی نقاط داده در سراسر نمودار، تا حدودی مشابه نمودارهای زابل، ایرانشهر و خاش، نشان‌دهنده تنوع در مقادیر رطوبت نسبی و وجود مقادیر پرت (Outliers) یا تغییرات فصلی است. در مقایسه با زابل و ایرانشهر، نمودار چابهار تراکم مشابه نقاط داده در ناحیه پایین تا میانی، پراکندگی مشابه نقاط داده، و مقادیر RMSE و R^2 مشابه را نشان می‌دهد. این موضوعات نشان می‌دهند که مدل ERA5 در برآورد رطوبت نسبی برای ایستگاه چابهار عملکردی مشابه زابل و ایرانشهر دارد و از دقت و عملکرد پایین‌تری نسبت به خاش برخوردار است.

با بررسی نمودارها و معیارهای ارزیابی برای هر ایستگاه، می‌توان نتایج و تفاسیر را به شرح زیر خلاصه کرد: دقت مدل ERA5 در برآورد رطوبت نسبی در ایستگاه خاش با کمترین RMSE (۵/۱) و بالاترین R^2 (۰/۸۵) بالاترین دقت را دارد. ایستگاه چابهار RMSE برابر ۶/۸۶ و R^2 برابر ۰/۶۴ پایین‌ترین دقت را در بین ایستگاه‌ها دارند. همچنین پراکندگی نقاط داده در همه ایستگاه‌ها نشان‌دهنده پیچیدگی الگوهای رطوبت نسبی است. در همه ایستگاه‌ها، تراکم قابل توجهی از نقاط داده در ناحیه پایین تا میانی نمودار مشاهده می‌شود که نشان می‌دهد اکثر مقادیر رطوبت نسبی واقعی در این محدوده قرار دارند. به‌طور کلی، مدل ERA5 در برآورد رطوبت نسبی برای ایستگاه خاش عملکرد بهتری نسبت به سایر ایستگاه‌ها دارد. دقت مدل در زابل متوسط و در ایرانشهر و چابهار پایین‌تر است. از این رو باتوجه به موقعیت جغرافیایی و اقلیم‌های متفاوت ایستگاه‌ها می‌توان بیان داشت که الگوهای رطوبت در مناطق خشک و کم‌آب (مانند زابل) و مناطق ساحلی با رطوبت نسبی بالا (مانند چابهار) متفاوت و پیچیده هستند. بنابراین ضروری است که بهینه‌سازی مدل ERA5 برای مناطق خشک و کم‌آب و همچنین مناطق ساحلی صورت گیرد.

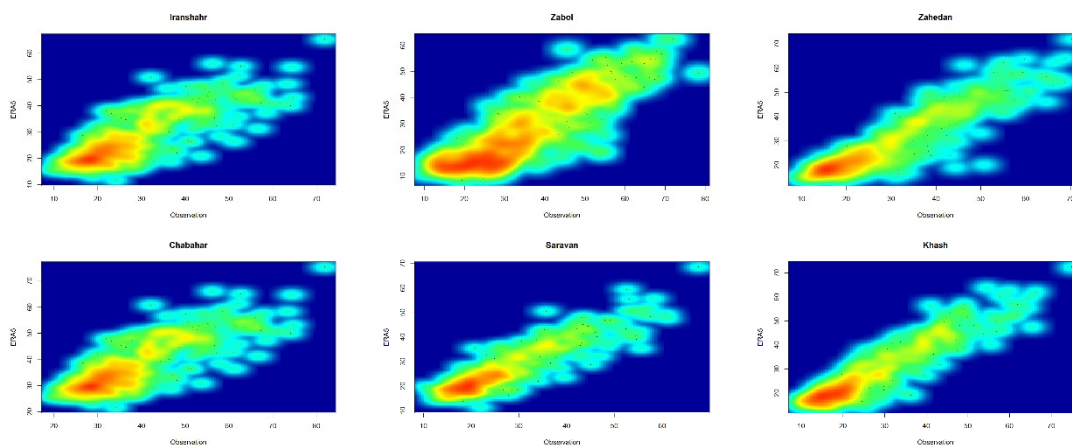
یا تغییرات فصلی است. با وجود این پراکندگی، روند کلی نمودار نشان می‌دهد که رابطه بین رطوبت نسبی واقعی و برآوردهای ERA5 در خاش قوی‌تر از زابل است. بنابراین بررسی نمودار smoothScatter و معیارهای ارزیابی نشان می‌دهند که مدل ERA5 در برآورد رطوبت نسبی در ایستگاه خاش با دقت و عملکرد نسبتاً بالا عمل می‌کند. تراکم نقاط داده در ناحیه پایین تا میانی، پراکندگی کمتر نقاط داده، و مقادیر RMSE و R^2 پایین‌تر این موضوع را تأیید می‌کنند.

در ایستگاه ایرانشهر: در نمودار، تراکم قابل توجهی از نقاط داده در ناحیه پایین تا میانی نمودار مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که اکثر مقادیر رطوبت نسبی واقعی در ایرانشهر در این محدوده قرار دارند و برآوردهای ERA5 مربوطه تمایل به پایین‌تر یا مشابه بودن دارند. پراکندگی نقاط داده در سراسر نمودار، تا حدودی مشابه نمودارهای زابل و خاش، نشان‌دهنده تنوع در مقادیر رطوبت نسبی و وجود مقادیر پرت (Outliers) یا تغییرات فصلی است. با وجود این پراکندگی، روند کلی نمودار نشان می‌دهد که رابطه بین رطوبت نسبی واقعی و برآوردهای ERA5 در ایرانشهر شبیه به زابل است. در مقایسه با زابل، نمودار ایرانشهر تراکم مشابه نقاط داده در ناحیه پایین تا میانی، پراکندگی مشابه نقاط داده، و مقادیر RMSE و R^2 مشابه را نشان می‌دهد. این موضوعات نشان می‌دهند که مدل ERA5 در برآورد رطوبت نسبی برای ایستگاه ایرانشهر عملکردی مشابه زابل دارد و از دقت و عملکرد پایین‌تری نسبت به خاش برخوردار است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که نمودار smoothScatter و معیارهای ارزیابی نشان می‌دهند که مدل ERA5 در برآورد رطوبت نسبی در ایستگاه ایرانشهر با دقت و عملکرد متوسط عمل می‌کند.

در ایستگاه چابهار: در نمودار، تراکم قابل توجهی از نقاط داده در ناحیه پایین تا میانی نمودار مشاهده می‌شود. این نشان می‌دهد که اکثر مقادیر رطوبت

جدول ۳- نتایج ارزیابی داده‌های رطوبت نسبی ماهانه ERA5 با داده‌های ایستگاه سینوپتیک

Chabahar	Saravan	Iranshahr	Khash	Zabol	Zahedan	
6.86	4.80	6.86	5.10	10.70	5.70	RMSE
5.19	3.60	5.19	4.07	8.70	4.23	MAE
0.64	0.80	0.64	0.85	0.75	0.83	R2



شکل ۳- نمودار smoothScatter برای دمای رطوبت نسبی ماهانه در ایستگاه‌های سینوپتیک

متوسط سالانه در اکثر ایستگاه‌های استان سیستان و بلوچستان است. به نحوی که با توجه به مقادیر مثبت Z و مقادیر p پایین، روند صعودی در سطح ۹۹ درصد برای همه ایستگاه‌ها به جز چابهار (مقدار $p = 0/015$ که معنی‌دار است در سطح ۹۵ درصد) مشهود است. مقادیر نشان‌دهنده روندهای مثبت متوسط در سراسر ایستگاه‌ها است. این یافته‌ها بر اساس آزمون مان-کندال نشان‌دهنده روند گرم شدن معنی‌دار در دمای متوسط سالانه در سراسر استان سیستان و بلوچستان است. نتایج بررسی روند فصل بهار (جدول ۴) نشان‌دهنده روند کلی گرم شدن در دمای متوسط بهار در اکثر ایستگاه‌های استان سیستان و بلوچستان است. این روند در ایستگاه‌های زابل، زاهدان، سراوان و خاش از نظر آماری معنی‌دار در ($p < 0/05$) در سطح ۹۹ درصد است، در حالی که در ایستگاه ایرانشهر روند گرم شدن با مقادیر p کمی بالاتر ($p < 0/01$) مشاهده می‌شود. با این حال، در ایستگاه چابهار روند مشخصی برای دمای متوسط بهار وجود ندارد. مقادیر تاو کندال که بین $0/156$ تا $0/247$ متغیر است، نشان‌دهنده روندهای مثبت ضعیف تا متوسط در اکثر ایستگاه‌ها است که بیانگر

نتایج بررسی روند: در ادامه پس از تایید دقت داده‌های دمای متوسط ماهانه ERA5 به بررسی روند دمای متوسط ماهانه در مقیاس‌های سالانه و فصلی با داده‌های ERA5 و استفاده از آزمون من‌کندال پرداخته شد. جدول (۴) نتایج پارامترهای آماری آزمون من‌کندال برای داده‌های سالانه دمای متوسط در دوره آماری (۱۹۷۹-۲۰۲۲) را نشان می‌دهد. این پارامترهای آماری شامل، آماره Z : مقدار مثبت نشان‌دهنده روند مثبت (گرم شدن) و مقدار Z منفی نشان‌دهنده روند منفی (سرد شدن) است. مقادیر مطلق Z بالاتر نشان‌دهنده روند قوی‌تر است. مقدار p : این ستون مقدار p مرتبط با آماره Z را برای هر ایستگاه نشان می‌دهد. یک روند از نظر آماری معنی‌دار با مقدار p کمتر از سطح معنی‌داری از پیش تعریف شده (به طور معمول $0/05$) مشخص می‌شود و تاو کندال (τ): این ستون تاو کندال (τ) را نشان می‌دهد که معیاری غیرپارامتری برای سنجش قدرت و جهت روند یکنواخت است. این معیار از -1 تا 1 متغیر است، به طوری که -1 نشان‌دهنده یک روند کاملاً کاهشی، 0 نشان‌دهنده عدم وجود روند و 1 نشان‌دهنده یک روند کاملاً افزایشی است. نتایج جدول (۴) نشان‌دهنده روند صعودی (گرم شدن) معنی‌دار (مقدار $p < 0/05$) در دمای

عدم وجود هیچ روند جهتی در دمای تابستان این ایستگاه‌ها ارائه می‌دهند. این موضوع مهر تأییدی بر ثبات نسبی دمای تابستان در این مناطق طی گذر زمان است. بنابراین با توجه به نتایج هیچ روند مشخصی در دمای متوسط تابستان در سراسر استان سیستان و بلوچستان وجود ندارد. بر خلاف روندهای گرم شدن مشاهده شده در سایر فصول، دمای تابستان الگوی ثابتی از تغییر را نشان نمی‌دهد. این امر می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی از جمله تأثیر الگوهای آب و هوایی محلی، نوسانات طبیعی آب و هوا یا دوره نسبتاً کوتاه تجزیه و تحلیل باشد. توجه به این نکته ضروری است که عدم وجود روند آماری معنی‌دار لزوماً به معنای عدم تغییر کامل دمای تابستان نیست. مطالعات بیشتر با سری‌های داده‌ای طولانی‌تر و تجزیه و تحلیل‌های دقیق‌تر می‌تواند درک ظریف‌تری از تنوع دمای تابستان در استان سیستان و بلوچستان ارائه دهد.

افزایش تدریجی دمای متوسط بهار در طول زمان است. این تحلیل بر اساس آزمون مان-کندال نشان‌دهنده روند غالب گرم شدن در دمای متوسط بهار در سراسر استان سیستان و بلوچستان است. این روند به ویژه در زابل و زاهدان مشهود است، در حالی که در سایر ایستگاه‌ها از نظر آماری کمتر معنی‌دار است. عدم وجود روند مشخص در چابهار، تنوع مکانی تغییرات دما را نشان می‌دهد. نتایج بررسی روند در فصل تابستان در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که هیچ روند معنی‌داری در دمای متوسط تابستان برای هیچ یک از ایستگاه‌های استان سیستان و بلوچستان وجود ندارد. مقادیر p برای همه ایستگاه‌ها بیشتر از $0/05$ است که سطح معمول برای معنی‌داری آماری است. این نشان می‌دهد که دمای متوسط تابستان در این ایستگاه‌ها در طول دوره مورد بررسی، الگوی ثابتی از افزایش یا کاهش را نشان نداده است. مقادیر ارزش‌های تاو کندال که در بازه $0/042$ تا $0/121$ نوسان می‌کنند، کوچک بوده و نشانه‌ای قوی از

جدول ۴- نتایج آماره من کندال برای روند دمای متوسط ماهانه ERA5 در مقیاس سالانه و فصلی

زابل	زاهدان	خاش	سراوان	ایرانشهر	چابهار	
سالانه						
3.105	3.166	3.004	2.883	3.024	2.438	Z
0.002	0.002	0.003	0.004	0.002	0.015	p-value
0.326	0.332	0.315	0.302	0.317	0.256	tau
بهار						
2.215	2.357	2.094	2.013	1.891	1.487	Z
0.027	0.018	0.036	0.044	0.059	0.137	p-value
0.233	0.247	0.220	0.211	0.199	0.156	tau
تابستان						
0.637	1.143	0.779	0.394	0.819	0.698	Z
0.524	0.253	0.436	0.693	0.413	0.485	p-value
0.068	0.121	0.082	0.042	0.087	0.074	tau
پاییز						
0.941	1.143	1.204	1.224	1.305	1.345	Z
0.347	0.253	0.229	0.221	0.192	0.179	p-value
0.099	0.121	0.127	0.129	0.137	0.142	tau
زمستان						
3.085	3.085	3.105	2.862	2.923	2.802	Z
0.002	0.002	0.002	0.004	0.003	0.005	p-value
0.323	0.323	0.326	0.300	0.307	0.294	tau

معنی‌داری در دمای متوسط پاییز برای اکثر ایستگاه‌های استان سیستان و بلوچستان وجود ندارد.

نتایج بررسی روند در فصل پاییز در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که هیچ روند

با این حال از پراکنش کافی و مناسب ایستگاه‌های هیدروکلیماتولوژی برخوردار نیست. از سویی دیگر بیشتر پهنه‌های این استان به علت صعب‌العبور بودن مناطق فاقد دسترسی می‌باشند. بنابراین دسترسی به یک پایگاه مناسب و قابل اطمینان برای داده‌های اقلیمی یک ضرورت است. از این رو در این پژوهش به بررسی عملکرد دمای متوسط ماهانه و رطوبت نسبی ماهانه مبتنی بر پایگاه داده‌های ERA5 به عنوان یک مرجع با نتایج دمای متوسط ماهانه و رطوبت نسبی ماهانه مبتنی بر ایستگاه سینوپتیک در استان سیستان و بلوچستان پرداخته شد.

نتایج ارزیابی با استفاده از معیارهای ارزیابی و با استفاده از نمودار حاکی از آن است که همبستگی مثبت کلی بین دمای واقعی و داده‌های ERA5 در ایستگاه‌ها در دوره ۱۹۸۰-۲۰۲۰ است. این نتایج با نتایج (Lei et al., 2022) همخوانی دارد، این پژوهشگران مجموعه داده ERA5 برای تحلیل رویدادهای حاد بارش در چین را به عنوان یک منبع قابل اعتماد معرفی نموده و اذعان داشتند که همبستگی قوی بین داده‌های بارش شبیه‌سازی شده و واقعی وجود دارد. همچنین در مورد دما (Xu et al., 2022) نشان دادند که داده‌های ERA5 برای شبیه‌سازی داده‌های دما و شناسایی رویدادهای دمایی در چین قابل اعتماد هستند. Velikou و همکاران (۲۰۲۲) نیز دریافتند که ERA5 در بازتولید رویدادهای دمایی حاد در سراسر اروپا، مانند امواج گرما و دوره‌های سرد، عملکرد خوبی دارد. همچنین نتایج (Yilmaz, 2023) نشان‌دهنده درجه‌ی بالایی از همخوانی بین روندهای ERA5/ERA5-Land و مشاهدات است که حاکی از آن است که می‌توان از آنها به عنوان جایگزینی برای مشاهدات در ترکیه استفاده کرد.

با این حال، با توجه به اتکا به داده‌های باز تحلیل ERA5، اذعان به عدم قطعیت‌های موجود در مطالعه ما ضروری است. در حالی که این داده‌ها قوی هستند، اما باید توجه داشت که این داده‌ها ترکیبی از شبیه‌سازی مدل‌ها و داده‌های مشاهده‌ای هستند که به طور بالقوه باعث ایجاد سوگیری، به ویژه در مناطقی با نظارت کم مانند استان سیستان و بلوچستان می‌شوند. همانطور که در سایر مطالعات ذکر شده است، ناسازگاری‌های منطقه‌ای بیشتر بر لزوم احتیاط تأکید می‌کند. علاوه بر این، ممکن

فقط یک ایستگاه، خاش، روندی را نشان می‌دهد که به حد معنی‌داری آماری نزدیک می‌شود ($p=0/168$)، اما هنوز هم قطعی نیست. بقیه ایستگاه‌ها مقادیر p بیشتری از $0/2$ دارند که نشان‌دهنده عدم وجود شواهد قوی برای روند گرم شدن یا سرد شدن است. مقادیر تاو کندال که بین $0/057$ تا $0/149$ متغیر است، کوچک هستند و شواهد قوی از روند ارائه نمی‌کنند. این موضوع بیشتر بر این نتیجه تأکید می‌کند که دمای پاییز در این ایستگاه‌ها با گذشت زمان نسبتاً ثابت مانده است.

نتایج بررسی روند در فصل پاییز در جدول (۴) ارائه شده است. نتایج نشان‌دهنده یک روند قوی و ثابت گرم شدن در دمای متوسط زمستان در هر شش ایستگاه در استان سیستان و بلوچستان است. تمام مقادیر p کمتر از $0/01$ هستند که نشان‌دهنده روند گرم شدن معنی‌داری در هر ایستگاه است. مقادیر تاو کندال که بین $0/294$ تا $0/326$ متغیر است، نشان‌دهنده نرخ گرم شدن متوسط با شیب متوسط حدود $0/3$ است. این بدان معناست که دمای متوسط زمستان در این ایستگاه‌ها با سرعت حدود $0/3$ درجه سانتیگراد در هر دهه در حال افزایش بوده است. این تحلیل بر اساس آزمون من-کندال شواهد قانع‌کننده‌ای از یک روند گرمایشی معنی‌دار در دمای متوسط زمستان در سراسر استان سیستان و بلوچستان ارائه می‌دهد. الگوی ثابت گرم شدن در تمام ایستگاه‌ها و نتایج آماری معنی‌دار، **روند آشکار** افزایش دمای زمستان در این منطقه را برجسته می‌کند. نرخ‌های گرمایشی مشاهده شده با روندهای کلی تغییرات آب و هوایی مشاهده شده در سطح جهانی و منطقه‌ای مطابقت دارد.

بحث و نتیجه‌گیری

کمبود داده‌های مناسب و قابل اعتماد برای پایش پارامترهای آب و هوایی، در بسیاری از مناطق، به خصوص مناطق دورافتاده، وجود دارد. استان سیستان و بلوچستان جزو پهناورترین پهنه‌های کشور است و همچنین دارای توزیع اقلیمی و جغرافیایی نامتناسبی در سطح استان است

این نتیجه (for Environmental Information, 2022) نشان می‌دهد که سرعت افزایش دما در منطقه دو برابر میانگین نرخ‌های جهانی است. مطالعات متعددی که بر روی تغییرات روند دما در ایستگاه‌های مشاهداتی ایران متمرکز شده‌اند، نشان‌دهنده نرخ‌های مشابهی از تغییرپذیری زمانی در روندهای میانگین بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۳ هستند. این مطالعات، که توسط Alizadeh-Choobari and Najafi, 2018; Alizadeh-Choobari et al., 2016a, 2016b; انجام شده‌اند، حاکی از افزایش متوسط دمای ۰/۲ درجه سانتیگراد در هر دهه بین سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۱۳، تداوم روندهای مثبت پس از اواسط دهه ۱۹۸۰ و شتاب گرفتن افزایش دما در آخرین دهه هستند. یافته‌های این مطالعات با نتایج مطالعه حاضر که به بررسی روندهای دما در استان سیستان و بلوچستان می‌پردازد، همخوانی دارد. همسو با این مطالعه، Alizadeh and Babaei (2022) تغییرات دمایی را که توسط ERA5 در جنوب غرب آسیا بین سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۲۰ به دست آمده بود، بررسی و نتیجه‌گیری کردند که دمای زمستان با نرخی سریع‌تر از سایر فصول در حال افزایش است. این یافته با نتایج این مطالعه همخوانی دارد، چرا که نتایج این مطالعه نیز نشان داد که دمای متوسط زمستان با نرخ قابل توجهی در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد در هر دهه در حال افزایش است.

در این مطالعه به منظور بررسی روند از داده‌های ERA5 استفاده گردید. نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های ژو و همکاران (۲۰۲۱) همخوانی دارد. آن‌ها نشان دادند که محصول دمایی ERA5 در شبیه‌سازی روندهای مشاهده‌شده با تغییرات مکانی کارآمد است. همچنین بر اساس یافته‌های Lei et al. (2022) داده‌های ERA5 مجموعه داده‌ای قابل اعتمادی برای تحلیل پدیده‌های حدی بارش در چین شناخته شده است. در مورد دما Xu et al., (2022) گزارش کرده‌اند که داده‌های ERA5 برای شبیه‌سازی داده‌های دما و شناسایی رویدادهای حدی دما قابل اعتماد هستند. Velikou et al. (2022) دریافتند که ERA5 در بازتولید رویدادهای حدی دمایی در سراسر اروپا، مانند موج گرما و دوره‌های سرد، عملکرد خوبی دارد.

است برهم کنش پیچیده الگوهای اقلیمی و ویژگی‌های توپوگرافی در این منطقه به طور کامل در نظر گرفته نشود. بررسی تأثیر توپوگرافی بر کارایی مجموعه داده ERA5 و نسخه‌های مختلف آن در ایران نشان می‌دهد که ارتفاعات در ایجاد خطا در برآورد دما در این داده بازتحلیل نقش دارند (حیدری و همکاران، ۱۴۰۲)، همچنین یافته‌های (Mihalevich Neilson et al., 2022) نشان داد که اصلاحات ارتفاع، دمای هوا و رطوبت نسبی را بهبود بخشید، اما تأثیر منفی بر برآورد سرعت باد داشت. همچنین به‌طور مشابه، روش‌های تصحیحی که با تکیه بر روابط فیزیکی، انحراف از مقدار واقعی ناشی از ارتفاع را حذف می‌کنند، نشان داده‌اند که باعث بهبود برآوردهای باز-تجزیه در مناطق با زمین‌شناسی پیچیده می‌شوند و می‌توان از آن‌ها در نبود مشاهدات زمینی استفاده کرد (You Bao et al., 2019). بنابراین، در حالی که یافته‌های ما با تحقیقات موجود همسو هستند، باید با در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌های ذاتی تفسیر شوند. و برای بهبود دقت (ERA5)، کالیبراسیون با مشاهدات زمینی ضروری است (Li et al., 2019; Wang et al., 2020).

با بررسی نتایج تجزیه و تحلیل روند دمای متوسط در استان سیستان و بلوچستان برای هر فصل، می‌توان به جمع‌بندی و تفسیر جامعی از تغییرات دمایی در این استان دست یافت: در مقیاس سالانه (گرمایش معنی‌دار) دمای متوسط سالانه در اکثر ایستگاه‌ها با نرخ متوسط ۰/۳ درجه سانتیگراد در هر دهه در حال افزایش است. در مقیاس فصل بهار (گرمایش غالب) دمای متوسط بهار در اکثر ایستگاه‌ها، به ویژه در زابل و زاهدان، در حال افزایش است. در مقیاس تابستان (عدم وجود روند مشخص) دمای متوسط در طول دوره بررسی ثابت مانده است. در مقیاس پاییز (عدم وجود روند مشخص) دمای متوسط در اکثر ایستگاه‌ها بدون تغییر قابل توجهی باقی مانده است. در مقیاس زمستان (گرمایش معنی‌دار) دمای متوسط با نرخ قابل توجهی در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد در هر دهه در حال افزایش است. در حالی که روندهای مشاهده شده در سطح جهانی در حدود ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد در همین دوره اندازه‌گیری شده است (NOAA National Centers

بدینوسیله نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب سپاسگزاری صمیمانه خود را از مسئولین پژوهشی موسسه به عمل آورند.

تضاد منافع نویسندگان

"نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند."

دسترسی به داده‌ها

"داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت."

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: مفهوم‌سازی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله
نویسنده دوم: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج

به هرحال روند غالب در استان سیستان و بلوچستان، گرم شدن در اکثر فصول، به ویژه در زمستان و بهار است. در حالی که زمستان‌ها به طور قابل توجهی گرم‌تر شده‌اند، تابستان‌ها الگوی ثابتی از تغییر را نشان نمی‌دهند. روندهای دمایی در استان سیستان و بلوچستان تصویری ناهمگون از تغییرات آب و هوایی را ارائه می‌دهند. گرم شدن زمستان‌ها، که با نرخ قابل توجهی در حال افزایش است، نگرانی اصلی است. با این حال، تابستان و پاییز الگوی ثابتی از تغییر را نشان نمی‌دهند. این یافته‌ها نیاز به تحقیقات بیشتر برای درک پیچیدگی‌های تغییرات آب و هوایی در این منطقه و پیامدهای آن برای سیستم‌های طبیعی و انسانی را برجسته می‌کند.

سپاسگزاری

این مقاله از طرح تحت عنوان "ارزیابی عملکرد داده‌های باز تحلیلی ERA5 در تخمین دما و رطوبت نسبی در استان سیستان و بلوچستان" با شماره ۱۲۱۶۶ مصوب دانشگاه سراوان استخراج شده است

منابع

۱. سام خانیانی، علی و محمدی، سیده عاطفه. (۲۰۲۲). مقایسه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*. ۱۶(۱): ۲۱۲-۱۹۵. <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.313494.1376>
۲. محمدی، مجتبی و فروزان فرد، معصومه. (۱۳۹۵). بررسی روند درجه حرارت عمق‌های مختلف خاک در چند نمونه اقلیمی ایران. *پژوهش‌های اقلیم‌شناسی*. ۲۵: ۱۴۰-۱۲۷.
۳. ویسی، شادمان. و نوری، جباری. (۲۰۲۳). ارزیابی عملکرد پایگاه داده‌های ERA5 و WaPOR با هدف برآورد تبخیر و تعرق مرجع در حوضه آبریز دریای خزر. *پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۷(۲): ۱۹۳-۲۰۶. <https://doi.org/10.22092/jwra.2023.361653.981>
۴. Alizadeh, O., Babaei, M., (2022). Seasonally dependent precipitation changes and their driving mechanisms in Southwest Asia. *Clim. Chang.* 171 (3-4), 1-16. <https://doi.org/10.1007/s10584-022-03316-z>.
۵. Alizadeh-Choobari, O., Ahmadi-Givi, F., Mirzaei, N., Owlad, E., (2016a). Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. *Int. J. Climatol.* 36 (13), 4276-4286. <https://doi.org/10.1002/joc.4630>.
6. Alizadeh-Choobari, O., Ghafarian, P., Adibi, P., (2016b). Inter-annual variations and trends of the urban warming in Tehran. *Atmos. Res.* 170, 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2015.12.001>.
7. 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.
8. 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 Persian].
9. Ashouri, H., Hsu, K. L., Sorooshian, S., Braithwaite, D. K., Knapp, K. R., Cecil,

18. Jiang, Q., Li, W., Fan, Z., He, X., Sun, W., Chen, S., ... & Wang, J. (2021). Evaluation of the ERA5 reanalysis precipitation dataset over Chinese Mainland. *Journal of Hydrology*, 595, 125660.
19. Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... & Joseph, D. (2018). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. In *Renewable energy* (pp. Voll_ 146 - Voll _ 194). Routledge.
20. Karl, H., Michela, G. 2019. What is ERA5. <https://confluence.ecmwf.int/display/CKB/What+is+ERA5>. Accessed Date: 2020-02-11.
21. Kendall, M.G. 1975. Rank Correlation Methods, 4th edition, Charles Griffin, London.
22. Kistler, R., Kalnay, E., Collins, W., Saha, S., White, G., Woollen, J., ... & Fiorino, M. (2001). The NCEP-NCAR 50-year reanalysis: monthly means CD-ROM and documentation. *Bulletin of the American Meteorological society*, 82(2), 247-268.
23. Kobayashi, S., Ota, Y., Harada, Y., Ebata, A., Moriya, M., Onoda, H., ... & Takahashi, K. (2015). The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, 93(1), 5-48.
24. Li, H., Liu, G., Han, C., Yang, Y., & Chen, R. (2022). Quantifying the trends and variations in the frost-free period and the number of frost days across China under climate change using ERA5-land reanalysis dataset. *Remote Sensing*, 14(10), 2400.
25. Malayeri, A. K., Saghafian, B., & Raziiei, T. (2021). Performance evaluation of ERA5 precipitation estimates across Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, 1-18.
26. Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend, *Econometrica* 13:163-171.
27. Marques, C. A., Rocha, A., Corte-Real, J., Castanheira, J. M., Ferreira, J., & Melo-Gonçalves, P. (2009). Global atmospheric energetics from NCEP-Reanalysis 2 and ECMWF-ERA40 Reanalysis. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(2), 159-174.
- L. D., ... & Prat, O.P. (2015). PERSIANN-CDR: Daily precipitation climate data record from multisatellite observations for hydrological and climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 69-83.
10. Bengtsson, L., Hagemann, S., & Hodges, K.I. (2004). Can climate trends be calculated from reanalysis data?. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D11).
11. Boer, G.J. (1986). A comparison of mass and energy budgets from two FGGE datasets and a GCM. *Monthly weather review*, 114(5), 885-902.
12. Bosilovich, M.G., Lucchesi, R., & Suarez, M. (2015). MERRA-2: File specification (No. GSFC - E - DAA - TN27096).
13. 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.
14. Dinku, T. (2019). Challenges with availability and quality of climate data in Africa. In *Extreme hydrology and climate variability* (pp. 71-80). Elsevier.
15. Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.
16. Heydari, A., Zarrin, A., & Dadashi-Roudbari, A. (2023). Investigating the performance of the deterministic and probabilistic versions (multi-member ensemble) of the ERA5 dataset in estimating Iran's temperature. *Researches in Earth Sciences*, 14(4), 1-20. doi: 10.48308/esrj.2023.103874. [In Persian].
17. Javanshiri, Z., Asadi Oskouei, E., Flamarzi, Y., & Abasi, F. (2023). Accuracy assessment of CFS-v2, MERRA-2, ERA-5 temperature over the different regions of Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 17(4), 1-24. doi: 10.30499/ijg.2022.360882.1452. [In Persian].

35. Stopa, J. E., & Cheung, K. F. (2014). Intercomparison of wind and wave data from the ECMWF Reanalysis Interim and the NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Ocean Modelling*, 75, 65-83.
36. Uppala, S.M., Kållberg, P.W., Simmons, A.J., Andrae, U., Bechtold, V.D.C., Fiorino, M., ... & Woollen, J. (2006). The ERA-40 re-analysis, *QJ Roy. Meteor. Soc.*, 131(612), 2961-3012.
37. Velikou, K., Lazoglou, G., Tolika, K., Anagnostopoulou, C., 2022. Reliability of the ERA5 in Replicating mean and Extreme Temperatures across Europe. *Water (Basel)* 14, 543. <https://doi.org/10.3390/w14040543>.
38. veysi, s., Nouri, M., & Jabbari, A. (2023). Performance Evaluation of WaPOR and ERA5 Datasets for the Purpose of Estimating Reference Evapotranspiration in the Caspian Sea Basin. *Journal of Water Research in Agriculture*, 37(2), 193-206. <https://doi.org/10.22092/jwra.2023.361653.981>. [In Persian].
39. Vousdoukas, M. I., Voukouvalas, E., Annunziato, A., Giardino, A., & Feyen, L. (2016). Projections of extreme storm surge levels along Europe. *Climate Dynamics*, 47, 3171-3190.
40. Xie, J., Yu, Y., Li, J. L., Ge, J., & Liu, C. (2019). Comparison of surface sensible and latent heat fluxes over the Tibetan Plateau from reanalysis and observations. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 131, 567-584.
41. Xu, W., Lei, X., Chen, S., Yu, T., Hu, Z., Zhang, M., Jiang, L., Bao, R., Guan, X., Ma, M., Wei, J., Gao, L., Feng, A., (2022). How well does the ERA5 Reanalysis Capture the Extreme climate events over China? Part II: Extreme Temperature. *Front. Environ. Sci.* 10 <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.921659>.
42. Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of The Total Environment*, 856, 159182.
28. Marshall, G. J. (2000). An examination of the precipitation regime at Thurston Island, Antarctica, from ECMWF re-analysis data. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(3), 255-277.
29. Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., & Hersbach, H. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth system science data*, 13(9), 4349-4383.
30. NOAA National Centers for Environmental Information, (2022). State of the Climate: Monthly Global Climate Report for Annual 2021. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202113>.
31. Oduro, C., Bi, S., Wu, N., Agyemang, S., Baidu, M., Babausmail, H., ... & Ayugi, B. O. (2024). Estimating surface air temperature from multiple gridded observations and reanalysis datasets over Ghana. *Advances in Space Research*, 73(1), 537-552. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.10.029>.
32. Ruane, A. C., Goldberg, R., & Chryssanthacopoulos, J. (2015). Climate forcing datasets for agricultural modeling: Merged products for gap-filling and historical climate series estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 233-248.
33. Sam Khaniani, A., & Mohammadi, A. (2022). Comparison of ERA5-Land reanalysis data with surface observations over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(1), 195-212. <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.313494.1376>. [In Persian].
34. Sprenger, M., & Wernli, H. (2003). A northern hemispheric climatology of cross-tropopause exchange for the ERA15 time period (1979–1993). *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D12).

