University of Tehran Press

Journal of the Earth and Space Physics

Homepage: https://jesphys.ut.ac.ir

Vol. 51, No. 1, Spring 2025, P. 175-190

(Research Article)

Evaluation of the reliability of ERA5-Land data in assessing minimum and maximum daily temperatures in Iran (1991-2020)

Javanshiri, Z.[1] ✉ | Falamarzi, Y.[1] | Abbasi, F.[1]

1. Climate Research Center (CRC), Research Institute of Meteorology and Atmospheric Sciences (RIMAS), Mashhad, Iran.

Corresponding Author E-mail: javanshirizohreh@gmail.com

(Received: 17 Aug 2024, Revised: 27 Oct 2024, Accepted: 4 Jan 2025, Published online: 10 June 2025)

Summary

In scientific research, the use of station data is often hindered by significant amounts of missing data and insufficient density of observation stations. This lack of comprehensive and representative data can significantly undermine our understanding of the phenomena under investigation. However, network-based databases have emerged as a promising solution to this challenge. One notable network database is the ERA5-Land, the latest reanalysis dataset from the European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). With a higher resolution than its predecessors, ERA5-Land has the potential to provide a more detailed and accurate representation of climatic conditions. Nevertheless, the reliability of this dataset in estimating Iran's maximum and minimum temperatures remains an open question. In this study, we aimed to evaluate the performance of the ERA5-Land climate database by comparing it to observation data from 143 stations across Iran during the normal climate period of 1991-2020. We calculated a range of statistical indices, including root mean square error (RMSE), Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NS), bias index, Mean absolute error (MAE), and Kling-Gupta coefficient (KGE), for both the maximum and minimum daily temperatures at each station. This comprehensive analysis allowed us to assess the spatial variations in the accuracy of the reanalyzed data. Furthermore, we delved deeper by analyzing the averages of these indicators in six regions that represent the diverse climatic conditions found within Iran. This approach enabled us better to understand the dataset's performance in different geographical settings. Our findings revealed that the ERA5-Land reanalysis data demonstrates good accuracy in estimating maximum and minimum temperatures in Iran. However, the performance is not uniform across the country. Daily maximum temperature data are generally more accurate than daily minimum data, with the latter being underestimated in most stations. Interestingly, the accuracy of the temperature estimates varies based on the climatic conditions. The data show the best performance in the warm cluster, while the poorest accuracy is observed in the cold cluster, particularly in the northwest of the country. This disparity highlights the importance of considering regional variations, when evaluating the reliability of reanalysis data. Seasonal accuracy also emerges from the analysis. The MAE values in ℃ for spring, summer, autumn, and winter seasons of maximum temperatures are 2.31, 2.16, 1.99, and 2.19, and for minimum temperatures are 2.6, 2.4, 2.4, and 2.3 respectively. The largest errors in estimating maximum and minimum daily temperatures occur during the spring season, while the lowest errors are observed in the autumn for maximum temperatures and the winter for minimum temperatures. Examining the annual accuracy trend reveals an interesting pattern. The annual MAE related to maximum temperature has increased from 1991 to 2020, with the highest error observed in 2020 across all climatic clusters. This suggests the need for continued monitoring and improvement of the reanalysis data to ensure its reliability in the face of evolving climate conditions.

Keywords: Iran, ERA5-Land, maximum temperature, minimum temperature.

Cite this article: Javanshiri, Z., Falamarzi, Y., & Abbasi, F. (2025). Evaluation of the reliability of ERA5-Land data in assessing minimum and maximum daily temperatures in Iran (1991-2020). *Journal of the Earth and Space Physics*, 51(1), 175-190. DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2025.378890.1007618

E-mail: (1) yashar.fa@gmail.com | abbasi9999@yahoo.com

CC BY NC

Publisher: University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2025.378890.1007618

Print ISSN: 2538-371X
Online ISSN: 2538-3906

انتشارات دانشگاه تهران

فیزیک زمین و فضا
نشانی اینترنتی مجله: http://jesphys.ut.ac.ir

دوره ۵۱، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحهٔ ۱۷۵- ۱۹۰
(مقاله پژوهشی)

ارزیابی قابلیت اعتماد داده‌های ERA5-Land در برآورد دماهای کمینه و بیشینه روزانه در ایران (۱۹۹۱-۲۰۲۰)

زهره جوانشیری [۱]✉ | یاشار فلامرزی [۱] | فاطمه عباسی [۱]

۱. پژوهشکده اقلیم شناسی، پژوهشگاه هواشناسی و علوم جو، مشهد، ایران.

رایانامه نویسنده مسئول: javanshirizohreh@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲۷، بازنگری: ۱۴۰۳/۸/۶، پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵، انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۳/۲۰)

چکیده

ERA5-Land جدیدترین مجموعه داده‌های بازتحلیل مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت وضع هوا (ECMWF) است که وضوح بیشتری نسبت به ERA-Interim و ERA5 دارد. با این‌حال قابلیت اعتماد این داده‌ها در برآورد دمای بیشینه و کمینه در ایران نامشخص است. از این‌رو در این مطالعه، با استفاده از داده‌های مشاهداتی ۱۴۳ ایستگاه در دوره نرمال اقلیمی ۱۹۹۱-۲۰۲۰، به ارزیابی این داده‌ها می‌پردازیم. برای این منظور، شاخص‌های آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب کارآیی نش‌ساتکلیف (NS)، اریبی (Bias)، میانگین قدرمطلق خطا (MAE) و ضریب کلینگ‌گوپتا (KGE)، برای پارامترهای دمای بیشینه و کمینه روزانه در هر یک از ایستگاه‌ها محاسبه شده و تغییرات این شاخص‌ها به طور مکانی تحلیل شدند. سپس متوسط شاخص‌های ذکر شده در ۶ ناحیه اقلیمی در کشور به دست آمده و مورد مقایسه قرار گرفتند. همین‌طور دقت فصلی و سالانه این داده‌ها بررسی شدند. نتایج نشان داد به طور کلی عملکرد داده‌های ERA5-Land در برآورد دمای بیشینه و کمینه روزانه در اکثر ایستگاه‌ها خوب است. با این وجود، این داده‌ها در تخمین داده‌های دمای بیشینه روزانه دقت بالاتری نسبت به دمای کمینه روزانه دارد. از نظر منطقه‌ای، بیشترین خطا مربوط به منطقه شمال غرب کشور (مناطق مرتفع) و کمترین خطا مربوط به جنوب کشور می‌باشد. مقادیر MAE ℃ به‌ترتیب برای فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان دمای بیشینه ۲/۳۱، ۲/۱۶، ۱/۹۹و ۲/۱۹ و دمای کمینه ۲/۶، ۲/۴، ۲/۴ و ۲/۳ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین خطا مربوط به فصل بهار است.

واژه‌های کلیدی: ایران، ERA5-Land، دمای کمینه، دمای بیشینه.

۱. مقدمه

برای بسیاری از مطالعات، استفاده از داده‌های ایستگاهی به‌دلیل، وجود داده‌های گمشده زیاد و همین‌طور تراکم ناکافی ایستگاه‌ها، مناسب نیستند و از این‌رو به داده‌های شبکه‌ای نیاز هست. پایگاه داده‌های شبکه‌ای مختلفی وجود دارند که توسط مراکز معتبری در دنیا تولید می‌شوند و در بین آنها ERA5-Land جدیدترین نسل داده‌های بازتحلیل است که دارای منابع داده‌های شبیه‌سازی گسترده‌تر، وضوح مکانی-زمانی بیشتر و تجزیه‌وتحلیل تغییرات چهار بعدی پیشرفته‌تر نسبت به سایر داده‌های بازتحلیل است. مطالعات متعددی در سراسر جهان با هدف ارزیابی این پایگاه داده به روز شده، منتشر شده است. ژائو و ژیبین (۲۰۲۲) محصولات دمای بازتحلیل ERA5-Land را بر فراز کوه‌های کیلیان چین (QLM) طی دوره آماری ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۷ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی زیادی بین دمای باز تحلیل ERA5-Land ماهانه و داده‌های مشاهداتی ماهانه وجود دارد. از نتایج دیگر این پژوهش این است که میانگین دمای سالانه داده‌های مشاهداتی دارای روند گرمایشی (۰/۴۸۸ درجه سانتی‌گراد در دهه) است که داده‌های دمای بازتحلیل ERA5-Land مقدار روند افزایشی (۰/۳۷۹ درجه سانتی‌گراد در دهه) را به‌خوبی برآورد می‌کند. گاتین و همکاران (۲۰۲۲) از مجموعه داده‌های بازتحلیل ERA5 و ERA5-Land برای

استناد: جوانشیری، زهره؛ فلامرزی، یاشار و عباسی، فاطمه (۱۴۰۴). ارزیابی قابلیت اعتماد داده‌های ERA5-Land در برآورد دماهای کمینه و بیشینه روزانه در ایران (۱۹۹۱-۲۰۲۰). *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۵۱(۱)، ۱۷۵- ۱۹۰. DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2025.378890.1007618

رایانامه: (۱) yashar.fa@gmail.com | abbasi9999@yahoo.com

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
DOI: http//doi.org/10.22059/jesphys.2025.378890.1007618

مدل‌سازی دمای آب رودخانه استفاده کردند. نتایج نشان داد که این محصولات می‌توانند شبیه‌سازی‌های دمایی با کیفیت بالا را بر روی یک سیستم رودخانه‌ای ۲۰۰ کیلومتری در بریتیش کلمبیا، کانادا ارائه دهند. زو و همکاران (۲۰۲۲) عملکرد دمای هوا ERA5-Land را در تراکم شهری ساحلی جنوب‌شرقی چین بررسی کردند. بر اساس نتایج، ERA5-Land دما را کم برآورد می‌کند و در برآورد دماهای پایین بهتر از دماهای بالا عمل می‌کند. همین‌طور، ERA5-Land تغییرات روزانه و ماهانه و همچنین نوسانات دمای طی روز را به‌خوبی ثبت می‌کند. نتایج نشان داد که استفاده ERA5-Land در توده‌های شهری ساحلی کارایی دارد.

باربوسا و اسکاتو (۲۰۲۲) با استفاده از داده‌های باز تحلیل ERA5-Land رویدادهای حدی دمای تابستان شبه جزیره ایبری را با استفاده از یک مدل ترکیبی بحرانی برای دو دوره مجزا ۱۹۸۱ تا ۲۰۰۰ و از ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ بررسی و مطالعه کردند. نتایج تفاوت معنی‌داری را در مقادیر بحرانی دو دوره، و در سطوح بازگشت ۲۰ سالانه نشان داد. بزرگترین تفاوت در دم توزیع داده‌ها بین دو دوره در منطقه شرق مدیترانه مشاهده شد. کااوو همکاران (۲۰۲۰) در لایه منجمد دائمی زمین (Permafrost)، میزان اریبی موجود در محصولات دمای خاک ERA5-Land را ارزیابی کردند. آنها دریافتند که داده‌های بازتحلیل دمای خاک را در شمال کانادا و آلاسکا بیش از حد تخمین می‌زند، اما در عرض‌های جغرافیایی متوسط کم برآورد دارد. کااو و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه دیگری در مناطق منجمد دائمی، دمای خاک ERA5-Land را با استفاده از یک طرح چند لایه برف HTESSEL بهبود بخشیدند. نتایج نشان داد استفاده از این طرح چند لایه به طور قابل توجهی تخمین دمای خاک در مناطق منجمد دائمی را در مقایسه با ERA5-Land بهبود بخشید. یلماز (۲۰۲۳) دقت روند دمای ERA5 و ERA5-Land بین سال‌های ۱۹۵۱ و ۲۰۲۰ را در ترکیه ارزیابی کرد. روندهای تخمینی مدل به‌ترتیب ۰/۹۱ درجه سانتی گراد در دهه و ۰/۲۱ درجه سانتی‌گراد در دهه در ترکیه برای سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰ و ۱۹۵۱-۲۰۲۰ بود. نتایج نشان دادند که بین روند ERA5، ERA5-Land و روند مشاهداتی مطابقت خوبی وجود دارد و داده‌های باز تحلیل می‌توانند به‌عنوان جایگزینی مناسب برای مشاهدات استفاده شوند.

سام خانیانی و محمدی (۱۴۰۱) با مقایسه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ایران بدین نتیجه رسیدند که رابطه مقادیر برآوردشده خطا و اختلاف ارتفاع نقاط شبکه ERA5-Land و ارتفاع ایستگاه با افزایش اختلاف ارتفاع، اندازه اریبی منفی و جذر میانگین مربعات خطای موجود در دمای ۲ متری و فشار سطحی ERA5-Land به طور معناداری افزایش می‌یابد.

تا کنون مطالعات محدودی در ارزیابی داده‌های بازتحلیل برای برآورد دمای بیشینه و کمینه در کشور انجام شده‌است. شکری کوچک و همکاران (۱۳۹۸) عملکرد دو پایگاه داده ECMWF و MERRA در برآورد دمای هوای بیشینه، کمینه و میانگین روزانه در سطح حوضه آبریز رودخانه حله واقع در جنوب ایران و کرانه‌های خلیج‌فارس را برای دوره آماری ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ ارزیابی کردند. آنها نشان دادند بر اساس شاخص‌های آماری میزان انطباق اطلاعات پایگاه‌های داده بازتحلیل در هر سه پارامتر دمایی بیشینه، کمینه و میانگین مناسب است، اما پایگاه داده ECMWF نسخه ERA-Interim نسبت به پایگاه داده MERRA نسخه ۲ بسیار مناسب‌تر است. محمدآبادی و همکاران (۱۴۰۳) کارایی سه مجموعه داده بازتحلیل ERA5-Land، AgERA5 و MSWX را در برآورد دمای کمینه، بیشینه و میانگین با استفاده از داده‌های دمای ۹۸ ایستگاه هواشناسی همدیدی در دوره آماری ۲۰۲۰-۱۹۹۱ و برای مقیاس ماهانه و سالانه بررسی کردند. آنها نشان دادندکه هرسه مجموعه داده در برآورد دمای‌کمینه ایران از مقدار خطا و اریبی‌کمتری برخوردارند. در صورتی‌که در برآورد دمای بیشینه، داده‌های AgERA5 و MSWX به‌ترتیب با مقادیر ۱/۷۴ و ۱/۴۲°C به‌طور محسوسی خطای‌کمتری را از خود نشان دادند. همین‌طور داده‌های ERA5-Land نشان‌دهنده بیش‌برآوردی (۵/۰۵°C) و مقادیر بالای خطا (۵/۰۷°C) در سطح کشور می‌باشد. از طرفی قابل توجه

است که نتیجه‌ی مطالعاتی که تا کنون در خصوص ارزیابی دقت پایگاه داده ECMWF در برآورد پارامتر دمای کشور انجام شده‌است، نشان از کم برآوردی دارند (سام خانیانی و محمدی (۱۴۰۱)، جوانشیری و همکاران (۱۴۰۱). لذا می‌توان گفت که نتایج محمدآبادی و همکاران (۱۴۰۳) با مطالعات گذشته همخوانی ندارد. با هدف بررسی دقیق‌تر، در این پژوهش با استفاده از داده‌های ۱۴۳ ایستگاه همدیدی کشور در دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ به ارزیابی عملکرد داده‌های ERA5-Land در برآورد دمای کمینه و بیشینه در مقیاس روزانه می‌پردازیم. تفاوت‌های اصلی این مطالعه با محمدآبادی و همکاران (۱۴۰۳) که منجر به نتایج معتبرتری خواهد شد عبارت‌اند از (الف) تعداد ایستگاه‌های مورد مطالعه بیشتر، (ب) کنترل کیفیت و همگن‌سازی داده‌های مشاهداتی قبل از ارزیابی، (ج) ارزیابی دقت داده‌ها در مقیاس روزانه.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. داده‌ها

برای انجام این پژوهش، ۱۴۳ ایستگاه هواشناسی همدیدی که دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ را پوشش می‌دادند و آمار مطلوب و تنوع اقلیمی دارند جهت انجام تحقیق انتخاب شدند. داده‌های دمای کمینه و بیشینه روزانه این ایستگاه‌ها از سازمان هواشناسی کشور اخذ و با استفاده از بسته‌ی کلایماتول در نرم‌افزار R کنترل کیفیت و همگن‌سازی شدند (گیجارو، ۲۰۱۸).

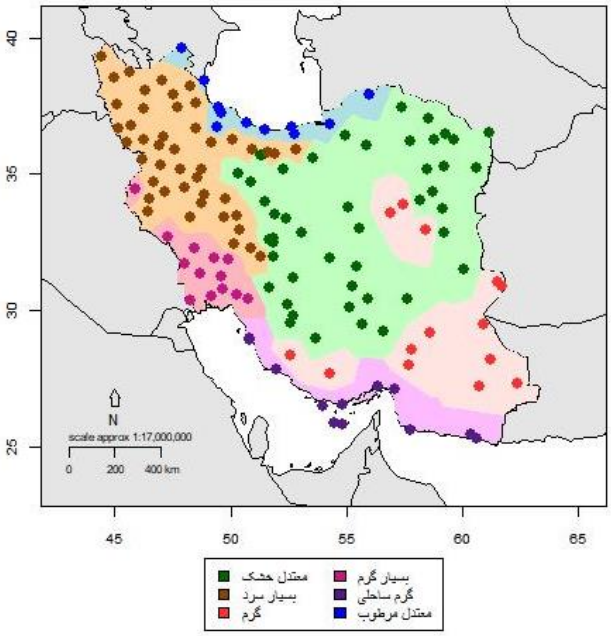
مجموعه داده‌های بازتحلیل دمای بیشینه و کمینه پایگاه داده ERA5-Land برای دوره موردنظر از سرویس تغییراقلیم کوپرنیک (Copernicus Climate Change Service). (https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-ERA5-Land?tab=form) دریافت شد. مشخصات داده‌ها در جدول ۱ آمده‌است. از آنجا که داده‌های بازتحلیل به‌صورت شبکه‌ای بوده و داده‌های ایستگاهی نقطه‌ای، جهت مقایسه آنها با یکدیگر مقادیر شبکه‌ای بازتحلیل در محل مختصات ایستگاه‌ها با استفاده ار روش میان‌یابی دوخطی (Bilinear interpolation) و با بهره‌گیری از ۴ شبکه نزدیک مختصات ایستگاه، درون‌یابی شدند.

۲-۲. خوشه‌بندی

جوانشیری و همکاران (۱۴۰۱)، کشور را بر اساس پارامتر دما به شش خوشه تقسیم کردند. خوشه یک؛ معتدل خشک، خوشه دو؛ بسیار سرد، خوشه سه؛ گرم، خوشه چهار؛ بسیار گرم، خوشه پنج؛ گرم ساحلی و خوشه شش؛ معتدل مرطوب. شکل ۱ راکندگی و موقعیت ایستگاه‌ها و خوشه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به یکسان‌بودن دوره زمانی و پارامتر مورد بررسی، در این مطالعه از این خوشه‌بندی استفاده می‌شود.

جدول ۱. مشخصات پایگاه داده‌های بازتحلیل.

بانک داده بازتحلیل	مرکز دریافت داده‌ها	پوشش زمانی	تفکیک
ERA5-LAND	Copernicus Climate Change Service's (C3S) Climate Data Store (CDS). https://climate.copernicus.eu/climate-data-store.	پوشش زمانی: ۱۹۵۰ تا حال حاضر	۰/۱ در ۰/۱ درجه



شکل ۱. خوشه‌های اقلیمی مورد مطالعه (جوانشیری و همکاران، ۱۴۰۱).

۲-۳. درون‌یابی دو خطی

درون‌یابی دوخطی، متوسط وزنی ۴ پیکسل نزدیک را برای محاسبه مقدار درون‌یابی شده استفاده می‌کند. نتیجه حاصل از این روش نسبت به مقادیر اولیه هموارتر است. زمانی که فاصله تا پیکسل‌ها دارای مقدار یکسان باشد، مقدار درون‌یابی شده همان میانگین چهار پیکسل است. این تکنیک، درون‌یابی را در هر دو جهت افقی و قائم انجام می‌دهد و نتایج آن نسبت به درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایه بهتر و نسبت به روش درون‌یابی دو مکعبی به محاسبات کمتری نیاز دارد.

۲-۴. شاخص‌های ارزیابی

برای ارزیابی داده‌های بازتحلیل‌شده دمای میانگین با داده‌های مشاهداتی از ۶ شاخص ارزیابی R، MAE، RMSE، Bias، NS و KGE با استفاده از روابط (۱) تا (۵) استفاده شد. فرض کنید O_i دمای مشاهداتی در روز i ام، R_i دمای به دست‌آمده از داده‌های بازتحلیل در روز iام و $\overline{O}$ و $\overline{R}$ به‌ترتیب مقادیر متوسط O_iها و R_iها و n تعداد مشاهدات باشد. ضریب همبستگی پیرسون که به درجه همبستگی خطی مربوط می‌شود و دامنه آن بین ۱- تا ۱ می‌باشد از (معادله (۱) حاصل می‌شود.

$$R = \sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(R_i - \overline{R}) / \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 (R_i - \overline{R})^2} \quad (۱)$$

MAE (معادله (۲) و RMSE (معادله ۳) بیانگر میانگین خطا در واحد متغیر مورد نظر است، با این تفاوت که RMSE به خطاهای بزرگ وزن نسبتاً بالایی می‌دهد. هر دو معیار می‌توانند از ۰ تا ∞ تغییر کنند، مقادیر کمتر نشان‌دهنده‌ی خطای کمتر پایگاه داده در پیش‌بینی مقادیر مشاهده‌ای است.

$$MAE = n^{(-1)} \sum_{i=1}^{n} |R_i - O_i|, \quad (۲)$$

سنجه Bias (معادله (۳) اریبی یک داده برآورد شده را نسبت به داده مشاهداتی نشان می‌دهد. به‌عبارت دیگر سنجه اریبی اختلاف بین داده‌های مدل یا بازتحلیل و مقدار واقعی متغیر است که می‌تواند دقت مجموعه داده مورد بررسی را نشان دهد. اریبی می‌تواند هر مقداری بین منفی بی‌نهایت تا مثبت بی‌نهایت باشد و به‌عبارتی برای تشخیص تفاوت بین دو مجموعه داده به کار می‌رود (ایزدی و همکاران، ۲۰۲۱).

$$Bias = \sum_{i=1}^{n}(R_i - O_i)/n \quad (۳)$$

ضریب NS برای مقایسه داده‌های بازتحلیل با مقادیر مشاهده‌ای مطابق رابطه ((۴) به کار می‌رود (بک و همکاران، ۲۰۱۹)

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - R_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (۴)$$

ضریب نش‌ساتکلیف می‌تواند از ∞- تا ۱ باشد. اگر مقدار ضریب نش منفی باشد نشان‌دهنده این است که داده‌های بازتحلیل در برآورد داده‌های مشاهداتی ضعیف‌تر از میانگین خود مشاهدات است. هر چه مقدار ضریب به یک نزدیک‌تر باشد، دقت برآورد بیشتر است.

KGE برای اولین‌بار توسط گوپتا و همکاران (۲۰۰۹) به‌کار رفت (معادله (۵). KGE *به‌عنوان* ترکیبی از ضریب همبستگی پیرسون، اریبی و تغییرپذیری تعریف می‌شود. محدوده KGE از ∞- تا یک است که در آن ۱ نشان‌دهنده بهترین برازش داده‌ها است، مقادیر بیشتر از ۰/۶ قابل قبول می‌باشد (تارک و همکاران، ۲۰۲۰).

$$KGE = 1 - \sqrt{((r-1)^2 + (\beta - 1)^2 + (\gamma - 1)^2)} \quad (۵)$$

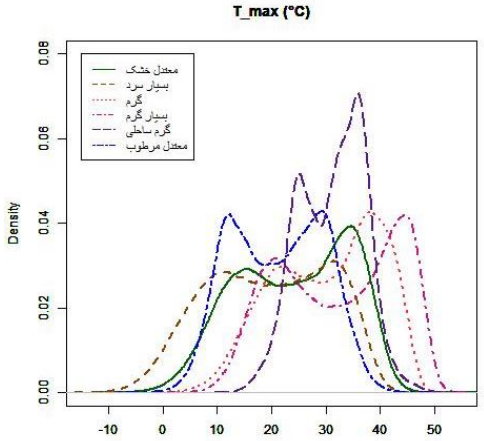
در رابطه ((۵)، r ضریب همبستگی می‌باشد، $\beta = \frac{\mu_r}{\mu_o}$ و $\gamma = \frac{\sigma_r}{\sigma_o}$ به‌ترتیب نسبت میانگین و واریانس داده‌های بازتحلیل را نسبت به مشاهداتی نشان می‌دهند.

۳. نتایج

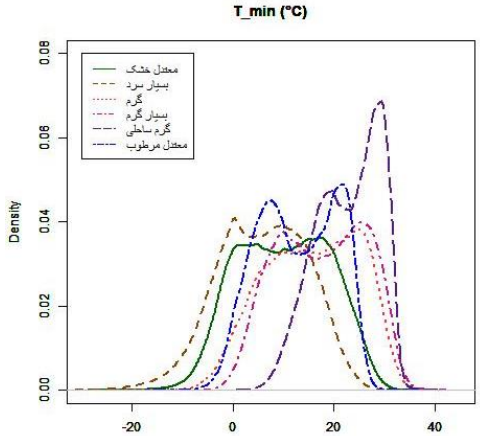
در مرحله اول، کنترل کیفیت و همگن‌سازی روی داده‌های روزانه دمای کمینه و بیشینه با استفاده از بسته نرم افزاری کلایماتول در نرم‌افزار R انجام شد. برای مشاهده جزییات روش، به جوانشیری و همکاران (۲۰۲۱) مراجعه کنید. سپس شاخص‌های آماری در هر یک از ایستگاه‌ها و متوسط شاخص‌ها در هر یک از خوشه‌های ذکر شده محاسبه و مورد مقایسه و بررسی قرار می‌گیرند. همین‌طور، دقت فصلی و سالانه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land، با استفاده از شاخص MAE در هر خوشه و به‌صورت ایستگاهی مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت.

۳-۱. تحلیل توصیفی دمای هوای بیشینه و کمینه

شکل ۲ توزیع احتمال داده‌های مشاهداتی دمای هوای بیشینه و شکل ۳ توزیع احتمال داده‌های مشاهداتی دمای کمینه را در خوشه‌های اقلیمی مختلف نشان می‌دهد. ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی دمای بیشینه و کمینه شامل میانگین و انحراف‌معیار میانگین ماهانه دمای بیشینه و کمینه، حداکثر و حداقل مطلق ماهانه در خوشه‌های اقلیمی مختلف در جداول ۲ و۳ ارائه شده است. بررسی نتایج و بررسی توزیع احتمال داده‌های مشاهداتی دمای هوای بیشینه در خوشه‌های اقلیمی مختلف نشان داد که بیشترین مقادیر بیشینه مطلق ماهانه دما و میانگین ماهانه دمای بیشینه در خوشه بسیار گرم (منطقه جنوب غرب) با مقادیر به‌ترتیب ۵۱/۵، ۳۲/۲ و کمترین مقادیر بیشینه مطلق ماهانه دما و میانگین ماهانه دمای بیشینه مربوط به خوشه بسیار سرد (منطقه شمال غرب) با مقادیر به‌ترتیب ۱۰/۱-، ۱۹/۴ است. انحراف‌معیار میانگین ماهانه دمای بیشینه در خوشه گرم ساحلی (سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس) کمترین مقدار را دارد که نشان می‌دهد تغییرات دمای بیشینه در این منطقه نسبت به سایر مناطق کمتر است.



شکل۲. نمودار تابع چگالی احتمال داده‌های مشاهداتی دمای هوای بیشینه °C در خوشه‌های اقلیمی.



شکل۳. نمودار تابع چگالی احتمال داده‌های مشاهداتی دمای هوای کمینه °C در خوشه‌های اقلیمی.

جدول۲. ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی دمای بیشینه ($^{\circ}C$) در خوشه‌های اقلیمی.

		min_max	max_max	mean_max	sd_max
خوشه	معتدل خشک	-۵/٤	٤۳/٥	۲٤/۲	۹/٦
	بسیار سرد	-۱۰/۱	٤۰/٤	۱۹/٤	۱۰/۳
	گرم	۱/٦	٤۷/۷	۳۰/۳	۸/۹
	بسیار گرم	٦/٥	٥۱/٥	۳۲/۲	۱۰/٤
	گرم ساحلی	۱٤/۲	٤۷/۱	۳۱/۲	٥/٤

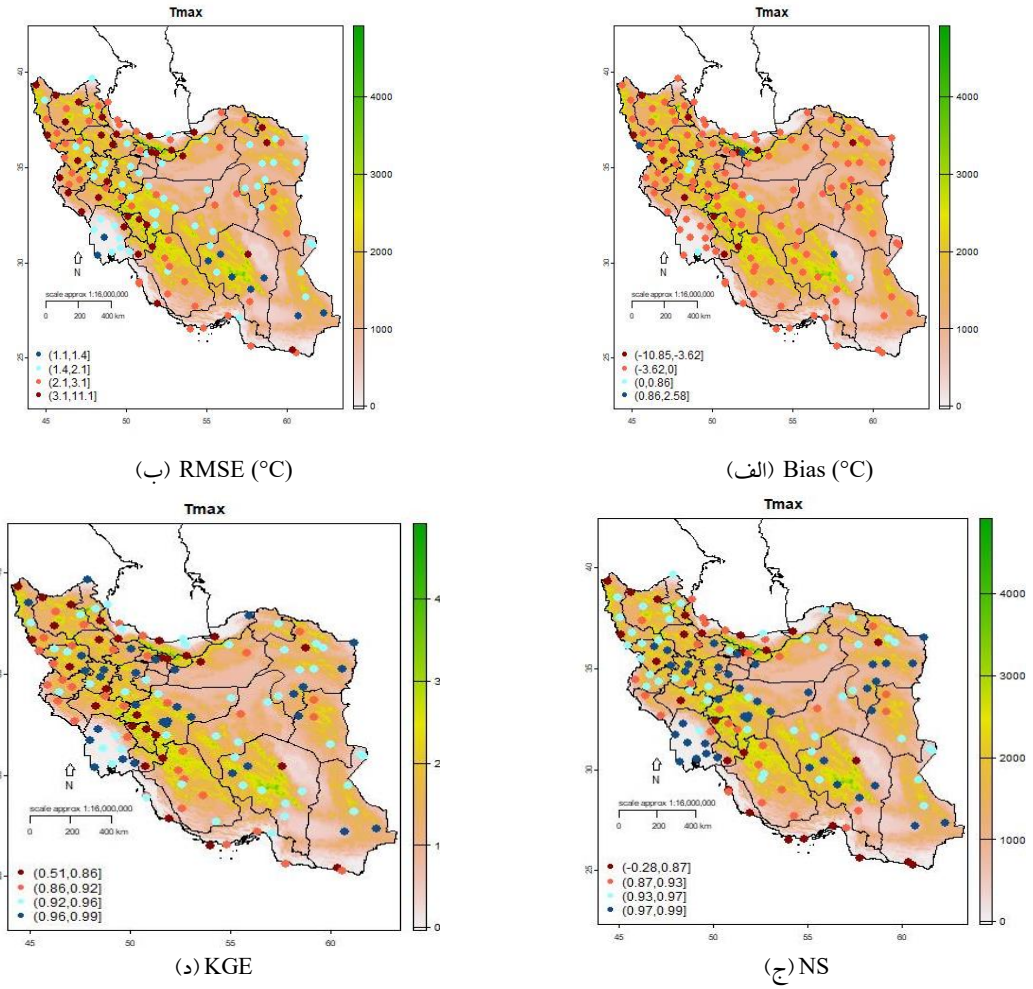
بر اساس نتایج جدول ۳، کمترین مقادیر کمینه مطلق ماهانه دما و میانگین ماهانه دمای کمینه در خوشه بسیار سرد (منطقه شمال غرب) با مقادیر به‌ترتیب ۲۴/۳-، ۵/۸ و بیشترین مقدار کمینه مطلق ماهانه دما مربوط به خوشه بسیار گرم با مقدار ۳۶/۴ و بیشترین میانگین ماهانه دمای کمینه متعلق به خوشه گرم ساحلی (سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس) با مقادیر به‌ترتیب ۲۲/۹ است. انحراف‌معیار میانگین ماهانه دمای بیشینه در خوشه گرم ساحلی (سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس) کمترین مقدار را دارد که نشان می‌دهد تغییرات دمای کمینه در این منطقه نسبت به سایر مناطق کمتر است.

۳-۲. ارزیابی داده‌های دمای بیشینه و کمینه روزانه

شکل٤ توزیع مکانی شاخص‌های Bias، RMSE، NS و KGE را در برآورد دمای بیشینه مشاهداتی با استفاده از داده‌های ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰ نشان می‌دهد. **شکل٤**-الف نشان می‌دهد که بیشترین قدر مطلق اریبی در ایستگاه یاسوج به مقدار ۱۰/۸۵ (که کم برآورد دمای بیشینه داشته است) و کمترین قدرمطلق اریبی نیز متعلق به ایستگاه بم (به مقدار ۰/۰۲۰۶) می‌باشد. بر اساس این شاخص، بیشترین میزان انحراف مقادیر دمای بیشینه مشاهده‌ای و دمای بیشینه ERA5-Land در ایستگاه‌های واقع در ناحیه اقلیمی بسیار سرد است. داده‌های بازتحلیل بیشینه دما را در بیشتر ایستگاه‌های کشور کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده‌اند یا به عبارت دیگر کم‌برآورد داشته‌اند. **شکل٤**-ب توزیع مکانی شاخص RMSE که حاکی از اختلاف توزیع داده‌های دمای بیشینه مشاهداتی روزانه و داده‌های بازتحلیل ERA5-Land در کشور است، را نشان می‌دهد. هر چه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد، خطای داده در پیش‌بینی مقادیر دیدبانی کمتر است. کمترین مقدار RMSE آن در شهر بابک ۱/۱۷ و بیشترین مقدار RMSE در غرب کشور و در ایستگاه یاسوج ۱۱/۱ بوده‌است که حاکی از خطای زیاد داده‌ها در این ایستگاه است. بررسی ضریب NS مقادیر دیدبانی دمای بیشینه نشان داد که این شاخص در یاسوج (به میزان ۰/۲۷-) کمترین مقدار را داشته که حاکی از عدم اطمینان برآوردها در این ایستگاه است و بیشترین مقدار آن نیز مربوط به اهواز (۰/۹۸۵) است (**شکل٤**-ج). همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر ضریب NS در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه در محدوده ۱-۰/۸۷ است که حاکی از دقت خوب داده‌های باز تحلیل ERA5-Land می‌باشد. **شکل٤**-د نشان می‌دهد که در اغلب مناطق کشور شاخص KGE بیش از ۰/۸۸ است. بیشترین مقدار این شاخص متعلق به همدان ۰/۹۸ و کمترین آن در یاسوج به میزان ۰/۵۲ است. به طورکلی در ایستگاه یاسوج داده‌های ERA5-Land در برآورد دمای بیشینه عملکرد ضعیف داشتند ولی در سایر ایستگاه‌ها مناسبند.

جدول۳. ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی دمای کمینه ($°C$) در خوشه‌های اقلیمی.

		min_min	max_min	mean_min	sd_min
خوشه	بسیار سرد	−۲٤/۳	۲۵/۸	۵/۸	۷/۸
	معتدل خشک	−۱۷/۵	۲۹/۸	۱۰/۱	۸/۰
	گرم	−۸/۱	۳٤/۲	۱۵/٦	۸/۱
	بسیار گرم	−۳/۹	۳٦/٤	۱۷/۵	۷/۸
	گرم ساحلی	٦/۱	۳٤/۹	۲۲/۹	۵/٦



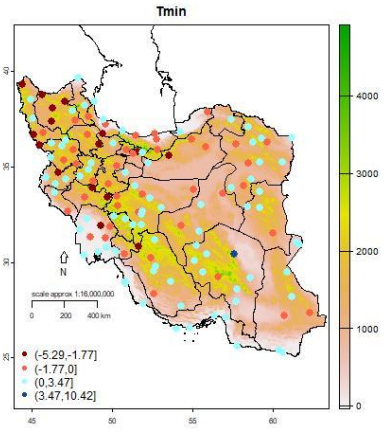
شکل٤. سنجه‌های آماری صحت سنجی دمای بیشینه (°C) روزانه در ایران بر اساس برونداد پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی.

جدول ۴ مقایسه دقت داده‌های دمای بیشینه روزانه باز تحلیل ERA5-Land را با دمای بیشینه مشاهداتی در هر خوشه اقلیمی مورد مطالعه نشان می‌دهد. بر اساس آن می‌توان گفت، از نظر مقایسه خوشه‌های اقلیمی، بیشترین میانگین قدرمطلق اریبی (۲/۴۳)، بیشترین مقدار RMSE (۳/۱۷) و کمترین مقدار KGE (۰/۸۶) در خوشه بسیار سرد و کمترین مقدار ضریب نش (۰/۷۱) در خوشه گرم ساحلی مشاهده شد. کمترین میانگین قدرمطلق اریبی (۱/۲)، کمترین مقدار RMSE (۱/۹)، بیشترین مقدار KGE (۰/۹۴) و ضریب نش (۰/۹۶) متعلق به خوشه گرم است. به طور کلی از نظر مجموع شاخص‌ها، دقت داده‌های بازتحلیل در برآورد دمای بیشینه در خوشه‌های بسیار سرد و گرم ساحلی کمترین و در خوشه گرم بیشترین است.

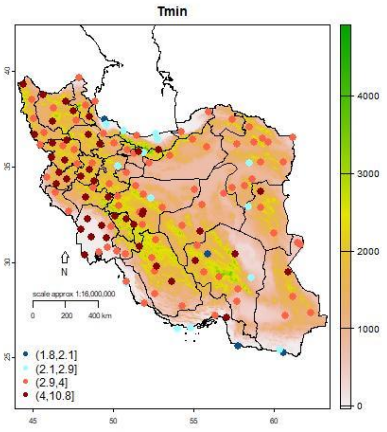
جدول ٤. مقایسه دقت داده‌های دمای بیشینه ($°C$) روزانه *ERA5-Land* نسبت به داده‌های مشاهداتی.

		MAE	RMSE	R	BIASE	NASH	KGE
خوشه	معتدل خشک	۱/۹٦	۲/۲٦	۰/۹۹	۱/٦٥	۰/۹۳	۰/۹۳
	بسیار سرد	۲/۷۸	۳/۱۷	۰/۹۹	۲/٤۳	۰/۸۹	۰/۸٦
	گرم	۱/٥۹	۱/۹۰	۰/۹۹	۱/۲٤	۰/۹٦	۰/۹٤
	بسیار گرم	۲/۰۱	۲/۲۸	۰/۹۹	۱/٦۹	۰/۹٤	۰/۹٤
	گرم ساحلی	۲/٤۳	۲/۸۳	۰/۹۷	۲/۳٦	۰/۷۱	۰/۸۸
	معتدل مرطوب	۲/۱۷	۲/٦۸	۰/۹۷	۱/٤٦	۰/۸۸	۰/۹۱

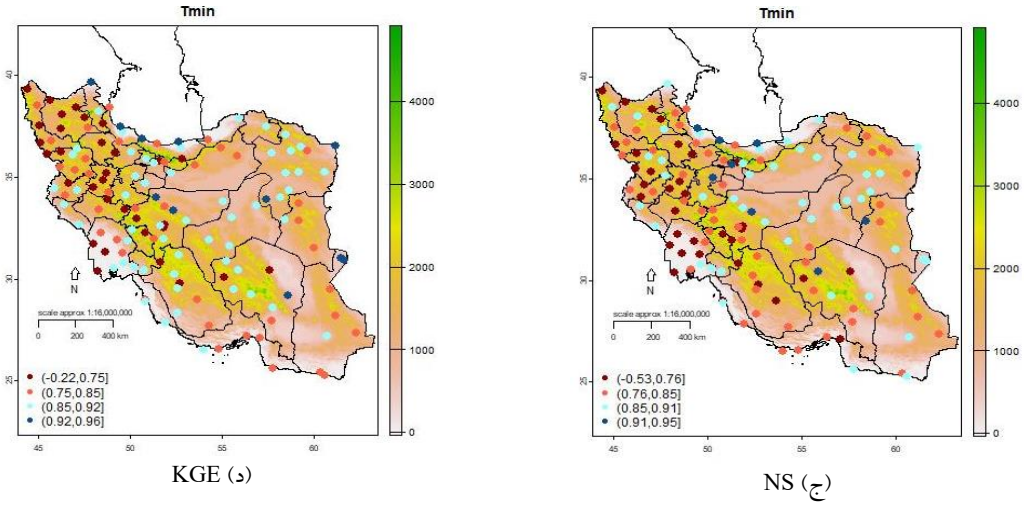
شکل ٥ توزیع مکانی شاخص‌های Bias، RMSE، NS و KGE را در برآورد دمای کمینه مشاهداتی با استفاده از داده‌های ERA5-Land طی دوره ۱۹۹۱–۲۰۲۰ نشان می‌دهد. بر اساس شاخص اریبی، داده‌های بازتحلیل دمای کمینه در بیشتر ایستگاه‌ها کم برآورد داشتند و مقدار دمای کمینه را کمتر از مقادیر مشاهده‌ای برآورد کرده‌اند. بیشترین قدر مطلق اریبی دمای کمینه مربوط به ایستگاه کرمان با مقدار ۱۰/۴۲ و کمترین قدرمطلق اریبی نسبی مربوط ایستگاه رباط پشت بادام با مقدار ۰/۰۰۲ می‌باشد (**شکل ٥**–الف). بررسی شاخص RMSE نشان می‌دهد که مقدار آن بین ۱/۸۲ (جاسک) و ۱۰/۸ (کرمان) متغیر است و بیشترین مقدار خطا مربوط به مناطق شمال غرب و دامنه‌ی زاگرس (مناطق مرتفع) می‌باشد. سواحل دریای عمان و خلیج‌فارس و همچنین سواحل دریای خزر کمترین خطا را دارند (**شکل ٥**–ب). بررسی مقادیر ضریب NS دمای کمینه نشان داد که در اکثر مناطق کشور به‌ویژه در دامنه‌های رشته کوه زاگرس، سواحل خلیج‌فارس و شمال و گوشه شمال شرق ایران، مقدار این شاخص بیشتر از ۰/۷۵ تا یک است و برآوردها خیلی‌خوب می‌باشد. بیشترین و کمترین مقدار ضریب نش در این پایگاه داده به‌ترتیب متعلق به خوربیرجند (به میزان ۰/۹۴) و اهواز است. **شکل ٥**–ج نشان می‌دهد که مقدار شاخص KGE در این پایگاه داده در اغلب مناطق کشور بیش از ۰/۷۵ است که حاکی از دقت و کارآیی خوب این داده‌ها است. بیشترین مقدار شاخص KGE در بندر انزلی به مقدار ۰/۹۵ است.



BIASE (°C) (الف)



RMSE (°C) (ب)



شکل۵. سنجه‌های آماری صحت سنجی دمای کمینه روزانه (°C) در ایران بر اساس برونداد پایگاه داده ERA5-Land در دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی.

جدول ۵ مقایسه دقت داده‌های دمای کمینه روزانه باز تحلیل ERA5-Land را با دمای کمینه مشاهداتی در هر خوشه اقلیمی مورد مطالعه نشان می‌دهد. از نظر مقایسه خوشه‌های آب و هوایی، بیشترین میانگین قدرمطلق اریبی (۱/۵۷) و کمترین مقدار KGE (۰/۷) متعلق به خوشه بسیار سرد و بیشترین مقدار RMSE (۴/۸۹) و کمترین مقدار ضریب نش (۰/۶۳) متعلق به خوشه بسیار گرم است. از طرفی کمترین میانگین قدرمطلق اریبی (۰/۸۷)، بیشترین مقدار KGE (۰/۹۰۵) و ضریب نش (۰/۹۱۸) متعلق به خوشه گرم و کمترین مقدار RMSE (۲/۲۳) متعلق به خوشه معتدل مرطوب می‌باشد. به طور کلی از نظر مجموع شاخص‌ها، دقت داده‌های بازتحلیل در برآورد دمای کمینه در خوشه‌های بسیار سرد و بسیار گرم کمترین و در خوشه‌های گرم و معتدل مرطوب بیشترین است.

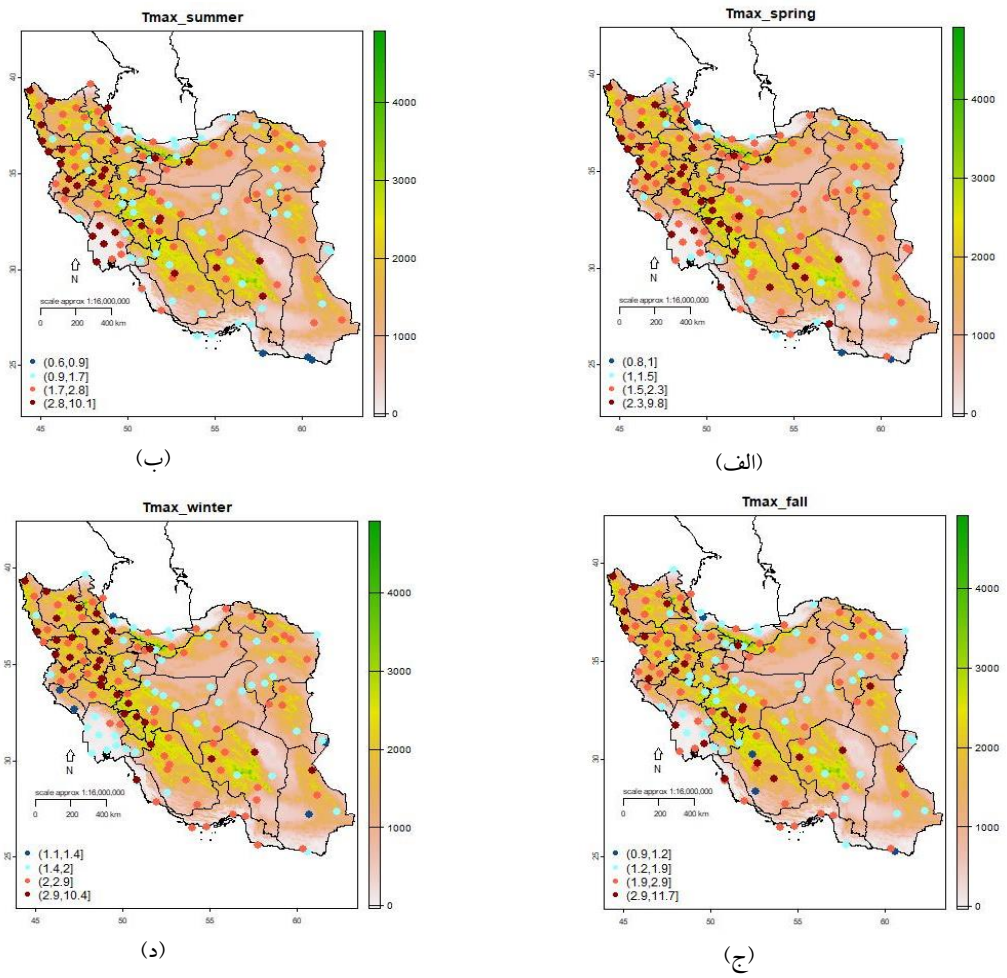
به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که میزان خطا بر اساس شاخص‌های مختلف آماری در مناطق مرتفع بیشتر از سایر مناطق است. علت این امر می‌تواند توپوگرافی پیچیده، میکرواقلیم‌ها و اثر پیچیده برف در این مناطق باشد. نواحی مرتفع ایران دارای توپوگرافی بسیار پیچیده‌ای هستند که می‌تواند تأثیر زیادی بر دما داشته باشد. تغییرات ناگهانی در ارتفاع و وجود کوه‌ها و دره‌ها باعث می‌شود که مدل‌های جوی مانند ERA5-Land نتوانند به دقت دما را پیش‌بینی کنند. همین‌طور، در نواحی مرتفع، میکرو اقلیم‌های خاصی وجود دارد که بر دما تأثیر می‌گذارد. این میکرو اقلیم‌ها ممکن است به‌دلیل ویژگی‌های محلی مانند نوع پوشش گیاهی و ساختار زمین، باعث بروز خطا در داده‌های مدل شوند.

جدول۵. مقایسه دقت داده‌های دمای کمینه (°C) روزانه *ERA5-Land* نسبت به داده‌های مشاهداتی.

		MAE	RMSE	R	BIASE	NASH	KGE
خوشه	معتدل خشک	۲/۲۵۰	۲/۷٤٤	۰/۹٦۷	۱/۳٦۲	۰/۸٦٦	۰/۸۲۲
	بسیار سرد	۲/٦۹۷	۳/۲۹٤	۰/۹۵۳	۱/۵۷۲	۰/۸۳۹	۰/٦٦۱
	گرم	۱/۸۳۲	۲/٤۰۳	۰/۹٦۹	۰/۸۷۱	۰/۹۱۸	۰/۹۰۵
	بسیار گرم	۲/۰۳۹	۳/۹۵۱	۰/۹۰۰	۰/۹۳٦	۰/٦۸۹	۰/۸۱۳
	گرم ساحلی	۱/۹۰۱	۲/٤۹٤	۰/۹۵۲	۱/۵۲۹	۰/۸۲۸	۰/۸٤۳
	معتدل مرطوب	۱/۷۸۸	۲/۲۳٤	۰/۹۷۰	۱/۰۸۲	۰/۹۰۷	۰/۸۹٤

۳-۳. ارزیابی فصلی داده‌های دمای بیشینه روزانه

به منظور شناخت بهتر رفتار دمایی کشور، دقت داده‌های دمای پایگاه ERA5-Land در برآورد دمای فصلی ایستگاه‌های همدیدی منتخب، طی دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی، نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای اعتبارسنجی این داده‌ها، شاخص MAE برای داده‌های دمای بیشینه و کمینه روزانه برای هر فصل به تفکیک محاسبه و نتایج روی نقشه مشخص شدند. در **شکل۶** نتایج ارزیابی میانگین دمای بیشینه در خوشه‌های اقلیمی با استفاده از شاخص MAE در فصول مختلف سال آورده شده است. محاسبه میانگین خطای MAE داده‌های دمای بیشینه بازتحلیل ERA5-Land و داده‌های مشاهداتی برای فصل بهار نشان داد که مقادیر خطا در غرب و شمال غرب کشور و حاشیه زاگرس بیشتر است (**شکل۶**-الف). کمترین و بیشترین مقدار خطای برآورد دمای بیشینه فصل بهار در ایستگاه‌های منتخب به‌ترتیب متعلق به شهر بابک (۰/۸) و یاسوج (۱۱/۱) به دست آمد. در فصل تابستان مقادیر خطای MAE داده‌های دمای بیشینه بازتحلیل و مشاهداتی در حاشیه دریای خزر و خلیج‌فارس و دریای عمان کمتر و داده‌های بازتحلیل در این مناطق عملکرد بهتری دارد. در شمال‌غرب و غرب کشور مقدار خطای داده‌های باز تحلیل کمی بیشتر است (**شکل۶**-ب). در فصل تابستان در میان ایستگاه‌های مورد مطالعه کمترین مقدار خطای برآورد دمای بیشینه متعلق به شهر بابک به مقدار ۰/۶ و بیشترین مقدار خطا نیز همانند فصل بهار در یاسوج (۱۰/۱) حاصل شد. این ایستگاه در فصل پاییز و زمستان نیز بیشترین خطای دمای بیشینه بترتیب به مقدار (۹/۷) و (۱۲/۵) درجه سلسیوس را دارد که قابل ملاحظه است.



شکل۶. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای بیشینه دما (°C) و برآورد پایگاه داده ERA5-Land در فصول مختلف برای دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی.

مقایسه‌ی دقت داده‌های بازتحلیل دمای بیشینه در فصل پاییز نشان می‌دهد که داده‌های بازتحلیل ERA5-Land در برآورد دمای بیشینه در حاشیه دریای خزر و خلیج‌فارس و دریای عمان کمترین خطا را نسبت به سایر مناطق کشور دارند(**شکل٦**-ج). در فصل پاییز از نظر ایستگاه‌ها کمترین مقدار خطای برآورد دمای بیشینه به بم به میزان ۰/۸ اختصاص دارد. مقایسه‌ی MAE مربوط به داده‌های بازتحلیل و مشاهداتی برای فصل زمستان بیانگر این است که داده‌های ERA5-Land در حاشیه دریای خزر و دریای عمان دقت بالاتری نسبت به سایر مناطق دارند (**شکل٦**-د). در این فصل بندر ماهشهر با ۱/۱ درجه سلسیوس خطا کمترین مقدار خطا را دارد.

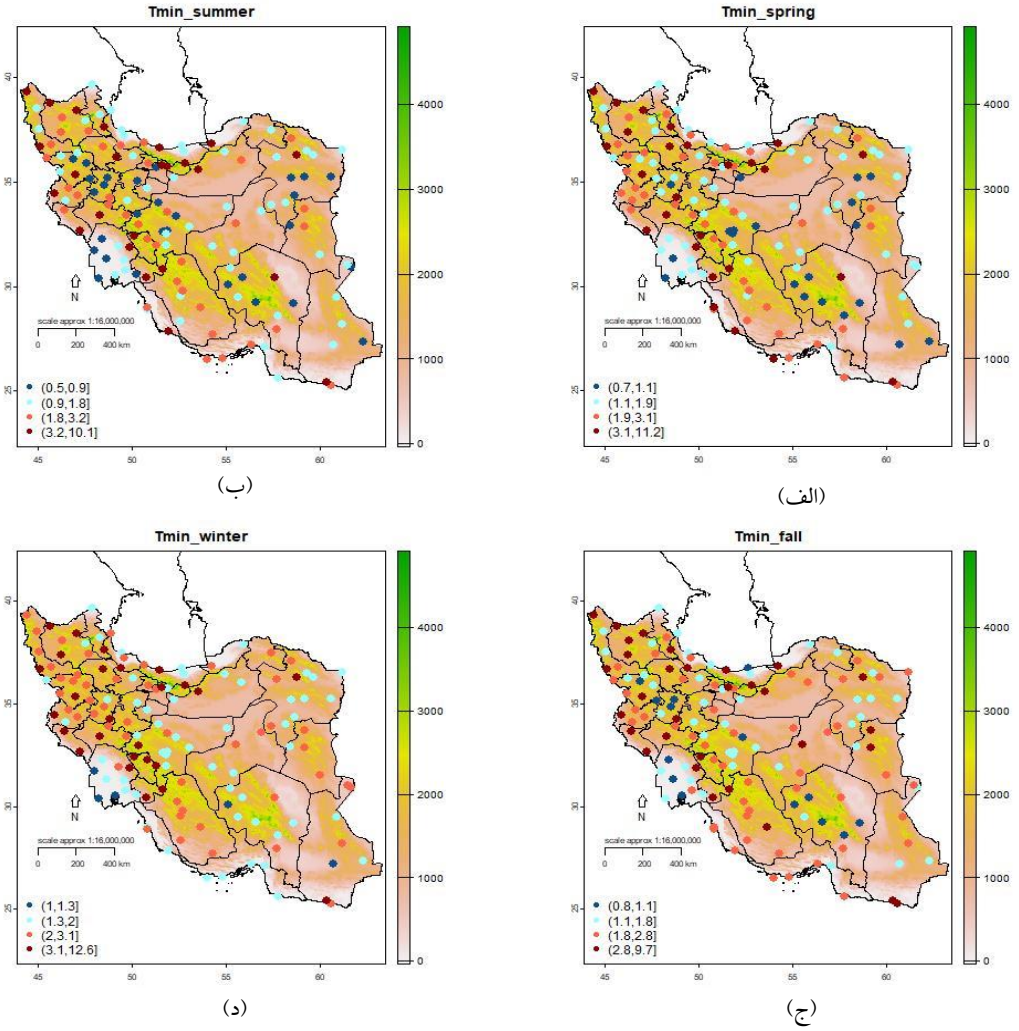
با توجه به **جدول٦** مشاهده می‌شود که در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان بیشترین خطا در خوشه بسیار سرد به‌ترتیب به مقدار ۳/۱۳، ۲/۶، ۲/۵ و ۲/۹ درجه سلسیوس و کمترین خطا این فصول متعلق به خوشه گرم به‌ترتیب به مقدار ۱/۹، ۱/۸، ۱/۲۸ و ۱/۳۹ درجه سلسیوس است. میانگین خطا دمای بیشینه فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در داده‌های بازتحلیل برای کل خوشه‌ها به‌ترتیب مقادیر ۲/۳۱، ۲/۱۶، ۱/۹۶ و ۲/۲ درجه سلسیوس می‌باشد.

۳-۴. ارزیابی فصلی داده‌های دمای کمینه روزانه

بررسی میانگین خطای MAE دمای کمینه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land و داده‌های مشاهداتی نشان داد که مقدار خطا در غرب و شمال غرب (مناطق مرتفع) به‌مراتب بیشتر و در شمال شرق و مناطق مرکزی به‌ویژه در حاشیه خلیج‌فارس و دریای عمان کمتر است (**شکل۷**-الف). مقایسه‌ی MAE داده‌های دمای کمینه بازتحلیل و مشاهداتی برای فصل تابستان بیانگر این است که در حاشیه زاگرس و حاشیه غربی دریای خزر مقادیر خطا کمتر و داده‌های بازتحلیل عملکرد بهتری دارد. در غرب و جنوب کشور مقدار خطای داده‌های باز تحلیل کمی بیشتر است (**شکل۷**-ب).

جدول٦. شاخص *MAE* میانگین دمای بیشینه ($°C$) در خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه داده *ERA5-Land*.

خوشه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
معتدل خشک	۲/۲٤	۲/۱۰	۱/٦۹	۱/۸۲
بسیار سرد	۳/۱۳	۲/٦۱	۲/۵۳	۹۲/
گرم	۱/۹۰	۱/۸۱	۱/۲۸	۱/۳۹
بسیار گرم	۲/۱۸	۲/۰۸	۱/۸۰	۲/۰۰
گرم ساحلی	۲/۰۵	۲/۳۳	۲/٤۱	۹۲/
معتدل مرطوب	۲/۳۵	۲/۰۰	۲/۲۰	۲/۱۵
میانگین	۲/۳۱	۲/۱۶	۱/۹۶	۲/۱۹



شکل۷. توزیع مکانی میانگین خطای MAE مقادیر مشاهده‌ای کمینه دما (°C) و برآورد پایگاه داده ERA5-Land در فصول مختلف برای دوره ۱۹۹۱-۲۰۲۰.

مقایسه‌ی دقت داده‌های بازتحلیل دمای کمینه در فصل پاییز نشان می‌دهد که داده‌های بازتحلیل ERA5-Land در برآورد دمای کمینه در حاشیه زاگرس، جنوب غرب، حاشیه خزر و نیمه شرقی کشور کمترین خطا را داشته و در جنوب کشور مقدار خطا بیشتر است (**شکل۷**-ج). در زمستان داده‌های بازتحلیل در حاشیه زاگرس، شمال شرق، جنوب غرب و حاشیه خزر عملکرد بهتری داشتند و در جنوب و غرب و حاشیه خلیج‌فارس و دریای عمان مقدار خطا بیشتر است (**شکل۷**-د).

کمترین مقدار خطای برآورد دمای کمینه فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به‌ترتیب متعلق به ایستگاه‌های بندر انزلی (۰/۸)، جاسک (۰/۶۶)، درودزن (۰/۹۳) و ایرانشهر (۱/۲) می‌باشد. در صورتی‌که بیشترین مقدار خطا در فصل‌های مورد نظر متعلق به ایستگاه کرمان به‌ترتیب با مقادیر ۹/۷، ۱۰، ۱۱/۶۱ و ۱۰/۳۴ می‌باشد.

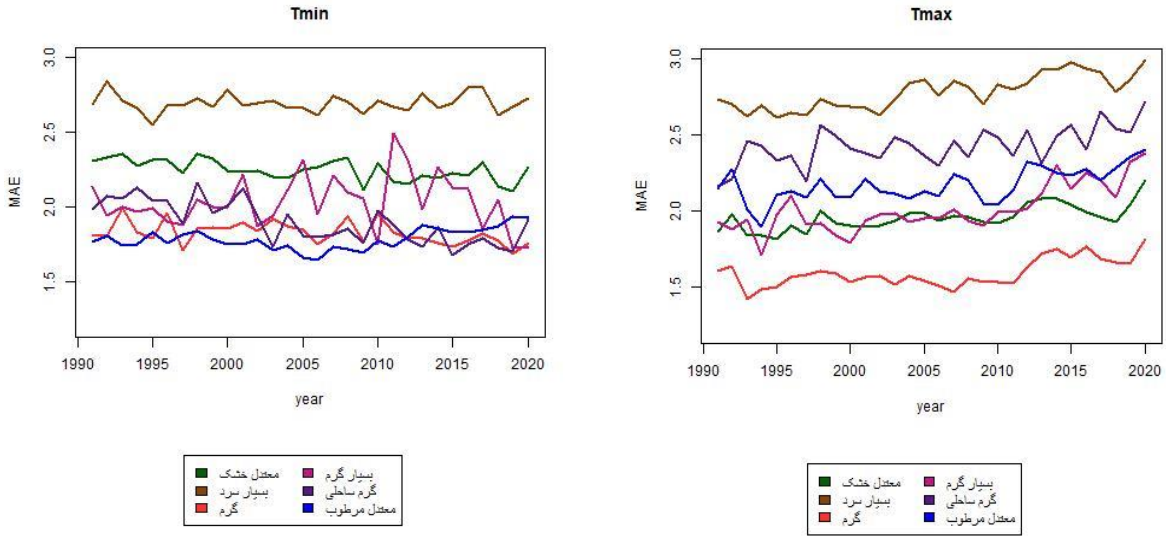
میانگین خطای دمای کمینه برای کل خوشه‌ها در بهار ۲/۵، در تابستان و پاییز ۲/۴ و در زمستان ۲/۲ درجه سلسیوس می‌باشد. با توجه به **جدول۷** می‌توان گفت در فصل بهار، تابستان و زمستان بیشترین خطا متعلق به خوشه بسیار سرد با مقادیر ۳/۴، ۲/۹ و ۲/۹ درجه سلسیوس و در فصل پاییز متعلق به خوشه بسیار گرم به مقدار ۳/۲ می‌باشد. کمترین خطای بهار در خوشه بسیار گرم (۱/۹۸)، تابستان در خوشه معتدل مرطوب به میزان ۱/۹ درجه سلسیوس و فصل‌های پاییز و زمستان در خوشه گرم ساحلی به‌ترتیب با مقادیر ۱/۵ و ۱/۸ درجه سلسیوس است.

جدول۷. شاخص‌های ارزیابی کننده میانگین دمای کمینه (°C) در خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه داده ERA5-Land.

خوشه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
معتدل خشک	۲/۶۹	۲/۷۵	۲/۵۶	۲/۴۳
بسیار سرد	۳/۳۷	۲/۹۰	۳/۰۹	۲/۹۲
گرم	۲/۲۸	۲/۲۹	۲/۱۰	۲/۰۵
بسیار گرم	۱/۹۸	۲/۳۷	۳/۱۸	۲/۲۱
گرم ساحلی	۲/۵۷	۲/۳۹	۱/۵۰	۱/۸۲
معتدل مرطوب	۲/۳۰	۱/۹۷	۱/۹۴	۱/۸۸
میانگین	۲/۵۳	۲/۴۵	۲/۴	۲/۲۲

۳-۵. ارزیابی سالانه

برای مقایسه میزان خطای پایگاه داده‌ها در سال‌های مختلف، سری زمانی سالانه میانگین خطای MAE دمای بیشینه و کمینه پایگاه داده ERA5-Land در ۶ خوشه اقلیمی مورد مطالعه در دوره ۲۰۲۰-۱۹۹۱ میلادی ترسیم شد (**شکل۸**). همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین خطای MAE دمای بیشینه سالانه در دوره مورد نظر افزایش یافته است و بیشترین خطا مربوط به سال ۲۰۲۰ می‌باشد. در بررسی سالانه نیز پرواضح است که در تمامی سال‌ها خوشه‌ی بسیار سرد بیشترین خطا و خوشه گرم کمترین خطا را داشته است. در مورد دمای کمینه همان‌طور که مشاهده می‌شود، در تمامی سال‌های دوره خوشه سرد دارای بیشترین خطا بوده است. روند خاصی در تغییرات خطا دمای کمینه طی این دوره مشاهده نمی‌شود.



(الف) (ب)

شکل۸. نمودار سری سالانه میانگین قدرمطلق خطای MAE الف) دمای هوای میانگین بیشینه (°C) ب) دمای هوای میانگین کمینه (°C) در خوشه‌های اقلیمی برای پایگاه باز تحلیل ERA5-Land طی سال‌های ۲۰۲۰-۱۹۹۱.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه، دقت پایگاه داده‌های بازتحلیل‌شده ERA5-Land در برآورد دماهای حدی در ایران طی دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که در بیش از ۹۰ درصد ایستگاه‌های کشور، ضریب نش و شاخص KGE بزرگ‌تر از ۰/۵ است. این امر نشان‌دهنده دقت قابل‌قبول داده‌های ERA5-Land در پیش‌بینی دماهای بیشینه و کمینه در سطح کشور است. همچنین، این نتایج با یافته‌های محمدی قلعه‌نی و شرفی (۱۴۰۱) و حیدری و همکاران (۱۴۰۲) مبنی بر دقت بالای داده‌های ERA5 در برآورد دمای میانگین ماهانه همخوانی دارد. مشخص شد که داده‌های بیشینه روزانه از دقت بیشتری نسبت به داده‌های کمینه روزانه برخوردارند؛ همچنین در اکثر ایستگاه‌ها، این داده‌ها کم‌تر از مقادیر واقعی برآورد شده‌اند، که این موضوع نیز توسط مطالعات سام‌خانیانی و محمدی (۱۴۰۱) تأیید می‌شود. در مطالعه‌ای که توسط محمدآبادی و همکاران (۱۴۰۳) انجام شد، نشان داده شده است که داده‌های ERA5-Land توانایی خوبی در نشان دادن تغییرات سالانه دما دارند؛ با این‌حال، این مجموعه داده نمی‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای داده‌های مشاهداتی در برآورد دما در ایران به‌شمار آید. به‌علاوه، دماهای کمینه با خطا و انحراف کمتری نسبت به دماهای بیشینه برآورد شده‌اند و مقدار خطای به دست آمده برای دمای بیشینه ۵/۰۷ درجه سانتی‌گراد با بیش‌برآورد ۵/۰۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. این نتایج با یافته‌های این مطالعه و مطالعات قبلی در تضاد قرار دارد.

بر اساس تمام شاخص‌ها، داده‌های دمای بیشینه و کمینه روزانه ERA5-Land بهترین دقت را در خوشه‌ی گرم و کمترین دقت را در خوشه بسیار سرد (شمال غرب کشور) دارند و همچنین بیشترین خطا در مناطق کوهستانی ایران مشاهده می‌شود که علت آن می‌تواند توپوگرافی پیچیده و تاثیر میکرواقلیم‌ها باشند. حیدری و همکاران (۱۴۰۲) نیز نشان دادند که گرچه مجموعه داده‌های ERA5 توزیع فضایی میانگین دما را در ایران به درستی برآورد می‌کند، با این‌حال در عرض‌های جغرافیایی بالا و مناطقی با توپوگرافی پیچیده کارایی ERA5 در برآورد دما نسبت به مناطق خشک و نیمه‌خشک داخلی کمتر است و هنگام به کارگیری داده‌های به‌عنوان داده مشاهداتی یا داده اصلی در مناطق ساحلی و کوهستانی باید دقت بیشتری کرد که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد. بیشترین خطای داده‌های دمای بیشینه و کمینه روزانه ERA5-Land در برآورد داده‌های مشاهداتی مربوط به فصل بهار است. کمترین خطای داده‌های دمای بیشینه مربوط به فصل پاییز و دمای کمینه مربوط به فصل زمستان است. خطای سالانه MAE مربوط به دمای بیشینه در دوره ۱۹۹۱–۲۰۲۰ افزایش پیدا کرده‌است و در تمامی خوشه‌ها بیشترین خطا متعلق به سال ۲۰۲۰ بوده‌است. در تمامی سال‌ها نیز بیشترین خطا متعلق به خوشه بسیار سرد و کمترین آن متعلق به خوشه گرم بوده‌است. روند خاصی در خطای سالانه MAE مربوط به دمای کمینه در دوره ۱۹۹۱–۲۰۲۰ مشاهده نمی‌شود، اما می‌توان گفت در تمامی سال‌ها بیشترین خطا متعلق به خوشه بسیار سرد (شمال غرب) بوده‌است.

مراجع

حیدری، ا.؛ زرین، آ. و داداشی رودباری، ع. ع. (۱۴۰۲). بررسی کارایی نسخه‌های قطعی و احتمالاتی (چند عضوی همادی) مجموعه داده ERA5 در برآورد دمای ایران، *مجله پژوهش‌های دانش زمین*، ۱۴ (۴)، ۱–۲۰.

جوانشیری، ز.؛ اسعدی اسکویی، ا.؛ فلامرزی، ی. و عباسی، ف. (۱۴۰۱). ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل پایگاه‌های اقلیمی جهانی CFS-v2، MERRA-2، ERA-5 برای برآورد دمای متوسط در مناطق مختلف کشور، *مجله ژئو فیزیک ایران*، ۱۶(۲)، ۱ –۲۴.

سام خانیانی، ع. و محمدی، س. ع. (۱۴۰۱). مقایسه داده‌های بازتحلیل ERA5-Land با مشاهدات زمینی در ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۶(۱)، ۲۱۲–۱۹۵.

شکری کوچک، س.؛ آخوند علی، ع. م. و شریفی، م. ر. (۱۳۹۸). معرفی و مقایسه عملکرد دو پایگاه جهانی داده

بازتحلیل در برآورد دمای هوای روزانه بیشینه، کمینه و میانگین (مطالعه موردی: حوضه آبریز رودخانه حله). *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۳(۳)، ۶۸-۵۳.

محمدآبادی، م.؛ مفیدی، ع.؛ زرین، آ. و داداشی رودباری، ع. ع. (۱۴۰۳). ارزیابی مجموعه داده‌های ERA5-Land، AgERA5 و MSWX در برآورد دما بر روی ایران. *مجله ژئوفیزیک ایران*، ۱۸(۴)، ۱۵۹-۱۳۱.

محمدی قلعه نی، م. و شرفی، س. (۱۴۰۱). ارزیابی دقت پایگاه داده‌های CRU TS4.05 و ERA5 برای متغیرهای بارش، دما و تبخیرتعرق پتانسیل در اقلیم‌های مختلف ایران، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، (۵) ۱۶، ۸۹۰-۸۷۹.

Barbosa, S., & Scotto, M.G. (2022). Extreme heat events in the Iberia Peninsula from extreme value mixture modeling of ERA5-Land air temperature. *Weather and Climate Extremes*, 36, 100448.

Beck, H.E., Pan, M., Roy, T., Weedon, G.P., Pappenberger, F., Van Dijk, A.I., Huffman, G.J., Adler, R.F., & Wood, E.F. (2019). Daily evaluation of 26 precipitation datasets using Stage-IV gauge-radar data for the CONUS. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(1). 207-224.

Cao, B., Arduini, G., & Zsoter, E. (2022). Brief communication: Improving ERA5-Land soil temperature in permafrost regions using an optimized multi-layer snow scheme. *The Cryosphere*, 16(7). 2701-2708.

Cao, B., Gruber, S., Zheng, D., & and Li, X. (2020). The ERA5-Land soil temperature bias in permafrost regions. *The Cryosphere*, 14(8). 2581-2595.

Copernicus Climate Change Service. (n.d.). Reanalysis ERA5-Land. Retrieved from https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-ERA5-Land?tab=form.

Gupta, H.V., Kling, H., Yilmaz, K.K., & Martinez, G.F. (2009). Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria, Implications for improving hydrological modelling. *Journal of hydrology*, 377(1-2). 80-91.

Gatien, P., Arsenault, R., Martel, J.L., & St-Hilaire, A. (2022). Using the ERA5 and ERA5-Land reanalysis datasets for river water temperature modelling in a data-scarce region. *Canadian Water Resources Journal/Revue Canadienne Des Ressources Hydriques*, 1-18.

Guijarro, J. A. (2018). Homogenization of climatic series with Climatol, https://CRAN.R-project.org/package=climatol.

Izadi, N., Karakani, E.G., Saadatabadi, A.R., Shamsipour, A., Fattahi, E., & Habibi, M. (2021). Evaluation of ERA5 Precipitation Accuracy Based on Various Time Scales over Iran during 2000–2018. *Water*, 13(18). 2538.

Javanshiri, Z., Pakdaman, M., & Falamarzi, Y. (2021). Homogenization and trend detection of temperature in iran for the period 1960–2018. *Meteorog Atmos Phys*, 133, 1233-1250.

Tarek, M., Brissette, F.P., & Arsenault, R. (2020). Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(5). 2527-2544.

Yilmaz, M. (2023). Accuracy assessment of temperature trends from ERA5 and ERA5-Land. *Science of The Total Environment*, 856(2). 159182.

Zhao, P., & Zhibin H. (2022). A First Evaluation of ERA5-Land Reanalysis Temperature Product Over the Chinese Qilian Mountains. *Frontiers in Earth Science*, 10, 907730.

Zou, J., Lu, N., Jiang, H., Qin, J., Yao, L., Xin, Y., & Su, F. (2022). Performance of air temperature from ERA5-Land reanalysis in coastal urban agglomeration of Southeast China. *Science of The Total Environment*, 828, 154459.

Zhao, Peng & He, Zhibin. (2022). A First Evaluation of ERA5-Land Reanalysis Temperature Product Over the Chinese Qilian Mountains. Frontiers in Earth Science.