Iranian Journal of Soil and Water Research ISNN: 2423-7833
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

Estimation and evaluvation of reference evapotranspiration using ERA5 dataset

Seyedeh Narges Hosseini[1]✉, Rouhallah Fatahi[2], Niaz Ali Ebrahimi Pak[3], Shadman Veysi[4]

1. Corresponding Author, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: narges_eau@yahoo.com
2. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: fattahi@sku.ac.ir
3. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: nebrahimipak@yahoo.com
4. Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: sh.veysi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type: Research Article

Article history:

Received: Dec. 19, 2022

Revised: March. 4, 2022

Accepted: Apr. 15, 2022

Published online: Apr. 21, 2023

Keywords:
ET0,
Penman monteith,
Reanalysis,
Karun catchment.

ABSTRACT

Appropriate estimation of reference evapotranspiration (ET0) has always been challengeas the fundamental parameter to estimate crop water requirement (ETc) in places with a data limitation forresearchers of soil and water resources.In this research, (ET0) had been estimated using the ERA5 reanalysis dataset and the by Penman–Monteith FAO-56 (PM). In the next step, the result was evaluated at the location of meteorological stations in the catchment of Karoon.Climatic data to compute the (ET0) from 26 synoptic meteorological stations of the basin and ERA5 dataset were obtained. Then, daily ET0 were calculated from 1390 to 1400.At first, variables including Tmax, Tmean, Tdew, Tmin, solar radiation, and wind speed were compared with the data of the meteorological station.The results showed that, the ERA5 dataset showed provide reliable temperature parameters and solar radiation estimates (i.e., normalized root mean square error (nRMSE) of < 30%)at the majority of cases. Although this dataset showed high nRMSE in all stations for wind speed values. These comparison between ET0 from observation and ERA5 dataset shown that at the 17 station from 26 station nRMSE less than 30 percent. Overall, the use of ERA5 dataset and estimation of ET0 in places that are faced with data scarcityfor decision- making in new planning can be a useful and reliable tool.

Cite this article: Hosseini, S. N., Fatahi, R., Ebrahimi Pak, N. A., Veysi, Sh. (2023) Estimation and evaluvation of reference evapotranspiration using ERA5 dataset, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 54 (2), 353-368. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352470.669415

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352470.669415

مجله تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۴، شماره ۲ شاپا: ۷۸۳۳-۲۴۲۳
Homepage: http://ijswr.ut.ac.ir

برآورد و ارزیابی تبخیر - تعرق مرجع روزانه با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5

سیده نرگس حسینی[۱]✉| روح‌اله فتاحی[۲]| نیاز علی ابراهیمی پاک[۳]| شادمان ویسی[۴]

۱. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: narges_eau@yahoo.com

۲. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: fattahi@sku.ac.ir

۳. موسسه تحقیقات خاک و آب، بخش آبیاری و فیزیک خاک، کرج، ایران. رایانامه: nebrahimipak@yahoo.com

۴. موسسه تحقیقات خاک و آب، بخش آبیاری و فیزیک خاک، کرج، ایران. رایانامه: sh.veysi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقالهٔ پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۲۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۲۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۲/۱

واژه‌های کلیدی:
تبخیر-تعرق مرجع،
پنمن مانتیث،
باز تحلیل،
حوضه آبریز کارون.

چکیده

هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی دقت داده‌های بازتحلیل شده ERA5 در برآورد پارمترهای اقلیمی و تبخیر-تعرق مرجع در حوضه آبریز کارون است. به این منظور داده‌های ۲۶ ایستگاه سینوپتیک از سال ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹ بصورت روزانه اخذ شد. در مجموع ۲۶ ایستگاه سینوپتیک موجود به‌غیراز ایستگاه صفی آباد دزفول، دمای حداکثر را با nRMSE کمتر از ۳۰ درصد نشان داد. در ایستگاه‌های یاسوج، دهدز و فارسان مقدار nRMSE برای دمای میانگین، بیشتر از ۳۰ درصد مشاهده گردید. اما متغیرهای دمای حداقل و دمای نقطه شبنم و سرعت باد آماره‌های خطای بالایی را به خود اختصاص دادند. همچنین متغیر شدت تشعشع خورشیدی تنها در چهار ایستگاه گتوند، شوش، ازنا و اهواز خطای بالای ۳۰ درصد را نشان داد که نتایج آن نشان دهنده عملکرد مناسب ERA5 در برآورد این متغیر است. نتایج ارزیابی تبخیر-تعرق مرجع در ۹ ایستگاه از ۲۶ ایستگاه موجود خطای بالای ۳۰ درصد را گزارش نمودند. به‌عبارت‌دیگر تبخیر-تعرق مرجع برآورد شده از پایگاه داده ERA5 تقریباً در دو سوم از ایستگاههای موجود در حوضه آبریز کارون نتایج قابل قبولی را ارائه داده است. ازآنجائی‌که بیشترین آماره خطا مربوط به داده‌های مقادیر سرعت باد ۲ متری در محل ایستگاه‌های هواشناسی است، لذا پیشنهاد می‌گردد در صورت استفاده از داده باز تحلیل و دردسترس‌بودن باد محل ایستگاه‌ها، از داده‌های اندازه‌گیری شده به‌جای مقادیر باد باز تحلیل استفاده گردد. درصورتی که در مقیاس حوضه هدف اجرای پروژه‌های آب‌وخاک می‌باشد و دسترسی به داده‌های اقلیمی و تبخیر-تعرق مرجع امکان‌پذیر نیست، بکارگیری داده‌های باز تحلیل گزینه مناسبی است.

استناد: حسینی؛ سیده نرگس، فتاحی؛ روح اله، ابراهیمی پاک؛ نیازعلی، ویسی؛ شادمان، (۱۴۰۲). برآورد و ارزیابی تبخیر - تعرق مرجع روزانه با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5، *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۴ (۲)، ۳۶۸-۳۵۳. https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352470.669415

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© نویسندگان.

DOI: https://doi.org/10.22059/ijswr.2023.352470.669415

مقدمه

تبخیر–تعرق دومین جزء مهم چرخه هیدرولوژیکی پس از بارش است و نقش اجتناب‌ناپذیری در مطالعات اقلیمی، تعادل آب و مدیریت آب در عملیات‌های مختلف کشاورزی دارد. در مقایسه با سایر اجزای چرخه هیدرولوژیکی، تخمین تبخیر – تعرق مرجع همچنان یک کار چالش برانگیز است، زیرا تخمین دقیق آن نقش حیاتی در بسیاری از زمینه‌ها مانند مطالعات بیلان آب، نیاز آبی محصول، برنامه‌ریزی آبیاری، مدیریت منابع آب و ارزیابی ظرفیت سیستم های آبیاری دارد. مهمتر از آن، تبخیر – تعرق به عنوان یک شاخص در فرآیند رشد گیاه، معادل نیاز آبی محصول در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که تخمین تبخیر – تعرق واقعی برای هر محصول مسئله‌ای پیچیده است، در عمل ابتدا تبخیر – تعرق مرجع محاسبه و سپس تبخیر – تعرق واقعی محصول با در نظر گرفتن تبخیر – تعرق مرجع و شاخص‌های رشد محصول برآورد می‌شود. عوامل اقلیمی متعددی مانند دمای هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی، ساعت آفتابی، تابش خورشیدی وجود دارند که بر تبخیر – تعرق تأثیر می‌گذارند (Gundekar et al., 2008; Makwana et al., 2023). سازمان خواروبار جهانی کشاورزی (فائو)، تبخیر – تعرق مرجع را به‌این‌ترتیب تعریف نمود که عبارت است از میزان تبخیر – تعرق از یک گیاه فرضی به ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و مقاومت پوشش گیاهی مقاومت روزنه‌ای ثابت و برابر با ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب آلبیدو ۰/۲۳ که مشابه تبخیر – تعرق از یک سطح گسترده با پوشش چمن سبز با ارتفاع یکنواخت و با رشد فعال و سایه‌اندازی کامل روی زمین و بدون کمبود آب است (Allen et al., 1998). دقیق‌ترین روش اندازه‌گیری تبخیر – تعرق مرجع استفاده از لایسیمتر است؛ ولی باتوجه‌به هزینه‌های بالای احداث و نگهداری آن و عدم توانایی گسترش نتایج آن به پهنه و مقیاس وسیع‌تر، استفاده از آن از مقرون‌به‌صرفه نمی‌باشد. تاکنون روابط تجربی و نیمه‌تجربی متعددی به‌منظور تعیین تبخیر – تعرق گیاه مرجع مبتنی بر یک یا چند متغیر مختلف هواشناسی ارائه شده است. (Allen et al., 1998) معادلهٔ پنمن – مانتیث را در نشریه شماره ۵۶ فائو به‌عنوان روش مورد قبول عموم معرفی نمودند. مزیت معادله پنمن –مانتیث– فائو نسبت به روش‌های تجربی دیگر در آن است که سازوکار انرژی و آئرودینامیک در این پدیده را در نظر می‌گیرد. ازاین‌رو امروزه برآورد تبخیر – تعرق مرجع از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و معادله پنمن مانتیث فائو امری رایج است. اما باتوجه‌به اینکه معمولاً ایستگاه‌های هواشناسی در فاصله محدوده های شهری و فرودگاه‌ها قرار دارند، میزان تبخیر – تعرق مرجع برآورد شده متناسب با داده‌های جمع‌آوری شده برای موقعیت هر ایستگاه است؛ لذا این مقدار می‌تواند با تبخیر – تعرق مرجع مناطق دیگر از جمله مناطق کشاورزی که فاقد ایستگاه‌های هواشناسی هستند، اختلاف داشته باشد. همین امر در صورت اختلاف زیاد می‌تواند منجر به برآورد نادرست مقدار نیاز آبی گیاهان گردد.

از اواخر دهه ۱۹۶۰، استفاده از داده‌های ماهواره ای هواشناسی کمبود رصد ایستگاه ها و پیوستگی مکانی و زمانی داده‌های هواشناسی را جبران کرد. پس از دهه ۱۹۹۰، داده‌های ماهواره‌ای وارد سیستم همسان سازی داده‌های متغیر شدند که دقت داده‌های هواشناسی را بیشتر بهبود بخشید (Eyre et al., 1993; Eyre, 1964). داده‌های باز تحلیل، داده‌های مختلف را از منابع سنجش از دور، مشاهدات زمینی و شبیه‌سازی‌های عددی را دریافت می‌کند (Harris and Keylly, 2001; Han et al., 2007) ، که دارای ویژگی‌های تفکیک مکانی و زمانی بالا است و منبع داده‌ای ایده‌آل برای مدل‌های توزیع‌شده است. در این میان اخیراً با توجه به تنوع زیاد می‌توان نسبت به برآورد متغیرهای مختلف هواشناسی موردنیاز در محاسبه تبخیر – تعرق از قبیل دما، رطوبت، تابش و غیره اقدام نمود. این داده‌ها به‌عنوان جایگزین مناسب برای داده‌های ایستگاه‌های زمینی هستند؛ زیرا داده‌های باز تحلیل قابلیت پوشش مکانی وسیع و پیوسته را دارند. همچنین هزینه آن از روش‌های مرسوم کمتر است و برای نواحی فاقد آمار و یا در جاهایی که اندازه‌گیری غیرممکن است مانند سطح اقیانوس‌ها و ارتفاعات کوهستانی؛ می‌تواند روشی مناسب در دوره‌های زمانی بلندمدت باشد (Barideh et al., 2022). مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی داده‌های اقلیمی مانند مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت شرایط آب‌وهوا (ECMWF) و اداره ملی اقیانوسی و جوی ایالات متحده آمریکا(NOAA)، و اداره کل ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده آمریکا(NASA) منابعی از داده‌های تقریباً روزآمد اقلیمی را در اختیار کاربران خود قرار داده‌اند که میزان خطای آن‌ها در مقایسه با داده‌های اندازه‌گیری شده در بسیاری موارد قابل‌قبول است. به همین دلیل این داده‌ها در کنار داده‌های مشاهداتی و در برخی موارد حتی در حکم جایگزینی برای داده‌های مشاهداتی (در مناطقی که داده های هواشناسی وجود ندارند یا کیفیت قابل قبولی ندارند) مورداستفاده قرار گرفته‌اند.

ERA-5 در سال ۲۰۱۸ توسط ECMWF جایگزین نسخهٔ قبلیERA-Interim گردید (Hersbach al., 2020). مقیاس مکانی داده‌هایERA-5 ۰/۲۵*۰/۲۵درجه است و مقیاس زمانی آن‌ها ۳ ساعته است. Paredes et al., (2018) با استفاده از داده‌هایERA-Interim مدل‌سازیET0 را در کشور پرتغال انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که داده‌های باز تحلیل برآورد نسبتاً مناسبی (خطای مطلق حدود ۰/۷۹ میلیمتر در روز) از ET0 روزانه را نشان داد همچنین بیان کردند که رفع خطای سیستماتیک می‌تواند خطای مطلق برآورد

ET0 را از ۰/۷۹ به ۰/۵۷ میلیمتر در روز کاهش دهد.

Galehban et al., (۲۰۲۲) با استفاده از محصول تبخیر – تعرق مرجع سامانه WaPOR و ERA5 اقدام به ارزیابی میزان تبخیر – تعرق مرجع روزانه بر مبنای روش تجربی پنمن مانتیث و صحت سنجی خروجی‌های آن در سطح استان سیستان و بلوچستان نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که سامانه‌های سنجش از دوری بادقت بالای ۸۰ درصد در محل ایستگاه‌های هواشناسی مقدار تبخیر – تعرق مرجع را برآورد و در تمامی ایستگاه‌ها خطای کمتر از ۲ میلی‌متر گزارش گردید. همچنین تبخیر – تعرق مرجع به‌دست‌آمده از داده‌های ماهواره‌ای در فصل زراعی (۱۵ خرداد تا ۱۵ آبان) نسبت به فصل زراعی (۱ آذر تا ۱۵ اردیبهشت) ضریب همبستگی (R^2) بالاتری را نشان داده است. نتایج شاخص nRMSE نشان داد که تبخیر – تعرق مرجع به‌دست‌آمده از داده‌های ERA5 وWaPOR مناسب هستند.(2020) ,.et al Pelosi با مقایسهٔ روش‌های زمین آماری و داده‌های بازتحلیل شده بیان داشتند که برای مکان‌های که تراکم داده نسبتاً مناسب است، دقت برآورد ET0 روزانه با روش‌های زمین آماری (کریجینگ و کریجینگ – رگرسیون) نسبت به کاربرد داده‌های بازتحلیل شده بیشتر است. لیکن ذکر این نکته ضروری است که روش‌های زمین آماری به مقدار زیادی به فراهمی و تراکم داده وابسته هستند و در مناطق داده محدود احتمالاً دقت کمتری از خود به نمایش خواهند گذاشت. Nouri and Homaee (2022) در پژوهشی باهدف ارزیابی روش پنمت مانتیث از داده‌های ERA5، MERRA2، GLDAS2 استفاده نمودند. نتایج به‌دست‌آمده از تبخیر – تعرق مرجع در ۱۳۴ ایستگاه سینوپتیک ایران با داده اقلیمی ماهواره‌ای نشان داد که عملکرد داده‌های ERA5 نسبت به سایر داده‌ها مطلوب‌تر است. Pelosi and Chirico, (2021) در مطالعه‌ای دقت تبخیر – تعرق مرجع روزانه (ET0)، محاسبه‌شده بر اساس معادله پنمن – مانتیث فائو را با استفاده از مجموعه‌ای از متغیرهای ورودی آب‌وهوایی به‌دست‌آمده از ترکیب داده‌های باز تحلیل ERA5-Land با تابش خورشیدی ورودی به سطح (Rs) ارزیابی کردند. ارزیابی عملکردها در سیسیل (جنوب ایتالیا) با استفاده از داده‌های ۳۸ ایستگاه خودکار هواشناسی زمینی (AWS) برای سال‌های ۲۰۰۳–۲۰۲۰ انجام شد. تخمین‌های ET0 به‌دست‌آمده با مجموعه‌داده ERA5L و ERA5L+CM-SAF با دو تخمینET0 دیگر به ترتیب با استفاده از داده‌های ERA5L و درون‌یابی آب‌وهوای زمین (IGD) مقایسه شد. شاخص‌های عملکرد مجموعه‌داده IGD با استفاده از کریجینگ جهانی یا کریجینگ معمولی به‌صورت بازگشتی بر روی داده‌های آب‌وهوای، طبق یک روش اعتبارسنجی متقابل، ارزیابی شدند. تخمین‌های ET0 با ERA5L+CM-SAF یکRMSE نرمال‌شده ۱۲٪ را نشان داد که عملکرد بهتری از تخمین‌هایERA5L داشت. نتایج نشان می‌دهد که مجموعه داده ترکیبی پیشنهادی یک نماینده خوب برای متغیرهای جوی در ارزیابیET0 در مقیاس منطقه‌ای است، زمانی که اندازه‌گیری‌های آب و هوا به راحتی قابل جمع‌آوری نیست یا در مناطق تراکم داده نامناسب باشد.

باتوجه‌به اینکه تا کنون تحقیقات متعددی در خصوص برآورد ET0 در سطح جهان و کشور صورت‌گرفته است، ولی استفاده از داده های باز تحلیل در پژوهش‌های محدودی صورت‌گرفته است. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف ارزیابی دقت هرکدام از متغیرهای موثر در برآورد ET0 و معرفی متغیری که بیشترین خطای برآورد را دارد. همچنین برآورد تبخیر – تعرق مرجع با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک و داده‌های ERA5 و مقایسه نتایج آنها در محل ایستگاه‌های سینوپتیک حوضه آبریز کارون به‌صورت روزانه است.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

حوضهٔ آبریز کارون با مساحت ۶۷ هزار کیلومترمربع زیر مجموعه‌ای از حوضهٔ آبریز اصلی خلیج‌فارس و دریای عمان است که در محدودهٔ ۴۹/۲۲° تا۵۲° طول شرقی و ۳۰/۱۶° تا۳۲/۳۸° عرض شمالی در جنوب غربی ایران واقع شده است که دارای یک طیف گسترده‌ای از رژیم‌های آب‌وهوایی متفاوت از مرطوب تا نیمه‌خشک است. آبراههٔ اصلی حوضه، رود کارون است که شاخه‌های اصلی آن یعنی رود کوهرنگ و رود بازفت از زرد کوه در استان چهارمحال‌وبختیاری سرچشمه می‌گیرند و بعد از تلاقی با هم رود کارون تشکیل می‌شود. در این پژوهش ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در این حوضه مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۱).

آمار و اطلاعات

اطلاعات میدانی

در ابتدا داده‌های مشاهداتی در محل ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک حوضه آبریز کارون که دارای ۲۶ ایستگاه سینوپتیک است شامل متغیرهای دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر است از سال ۱۳۸۹ تا سال ۱۳۹۹ به‌صورت

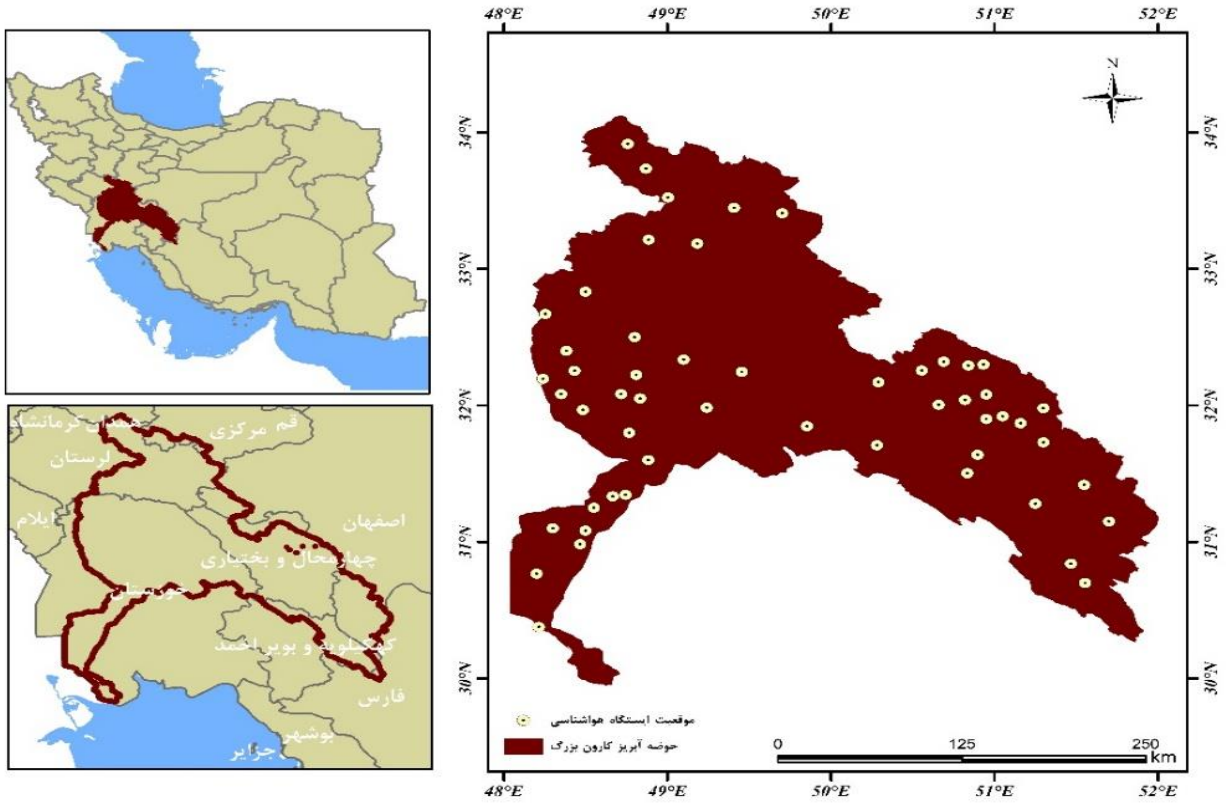
روزانه از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ شد. مسئله اصلی این حوضه عدم انطباق تعداد ایستگاه‌های هواشناسی با وسعت آن است. در این میان توانایی داده‌های بازتحلیل به‌منظور برآورد تبخیر – تعرق مرجع جهت استفاده در مکان‌ها فاقد ایستگاه هواشناسی باتوجه به دقتی که در مکان‌های شامل ایستگاه ارائه می‌دهند مورد بررسی قرار می‌گیرد که در جدول (۱) مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی ارائه شده است.

اقلیم حوضه آبریز کارون

به منظور بررسی نقش اقلیم در مقادیر تبخیر–تعرق مرجع، نقشه خرد اقلیم ایران که اخیرا توسط AsadiOskouei et al, (2022) بر اساس دو پارامتر دمای هوا و مقادیر بارش تهیه شده است، مورد استفاده قرار گرفت. این طبقه‌بندی با درنظر گرفتن روند تغییرات مکانی توپوگرافی ایران، بکارگیری مدل‌های ریاضی و روش‌های زمین آماری پیشرفته و نوین، در مقیاس ملّی تهیه شده است که نتایج نشان داد حوضه آبریز کارون دارای ۱۳ کلاس خرد اقلیم و چهار کلاس اصلی اقلیمی است.

داده‌های بازتحلیلERA5

برای برآورد تبخیر – تعرق مرجع از داده‌های بازتحلیل ERA5 به‌عنوان بخشی از اجرای سرویس تغییرات آب‌وهوایی کوپرنیک (Copernicus Climate Change Service) مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌برد آب‌وهوا ECMWF استفاده شد. اساس این داده‌ها سامانه یکپارچه پیش‌بینی (IFS) است، که با استفاده از قوانین فیزیک داده‌های مدل را با داده‌های مشاهداتی در سراسر جهان به یک مجموعه‌داده جهانی و کاملاً سازگار تبدیل می‌کند. ECMWF سابقه طولانی در باز تحلیل دارد و ERA5نسل پنجم از تجزیه و بازتحلیل جوی است که تولید شده است. این پایگاه‌داده برآورد ساعتی از جو کره زمین، سطح زمین و امواج اقیانوس را از سال ۱۹۵۰ ارائه می‌دهد و با تأخیر ۵ روزه به‌روز می‌شود. این داده‌ها وضوح افقی ۰/۲۵×۰/۲۵ درجه و ۱۳۷ سطح عمودی را از ۰/۰۱ هکتو پاسکال را پوشش می‌دهد. به‌منظور برآورد تبخیر – تعرق مرجع با استفاده از داده‌های ERA5، دمای نقطه شبنم، دمای حداقل و حداکثر، سرعت باد افقی و عمودی در ارتفاع ۱۰ متری و شدت تشعشع خورشیدی از سایت (https://cds.climate.copernicus.eu/) اخذ گردید (جدول ۲).



شکل ۱. موقعیت منطقه ایستگاه‌های مورد بررسی

جدول ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی

ردیف	ارتفاع(متر)	عرض(درجه)	طول(درجه)	نام ایستگاه	شهرستان	استان	نوع ایستگاه
۱	۱۸۷۳	۳۲/۰۰	۵۰/۶۵	اردل	اردل	چهارمحال و بختیاری	سینوپتیک
۲	۲۲۶۰	۳۱/۹۷	۵۱/۲۹	بروجن	بروجن	چهارمحال و بختیاری	سینوپتیک
۳	۲۰۴۸	۳۲/۲۹	۵۰/۸۳	شهرکرد	شهرکرد	چهارمحال و بختیاری	سینوپتیک
۴	۲۰۸۵	۳۲/۲۹	۵۰/۹۳	فرخشهر	شهرکرد	چهارمحال و بختیاری	سینوپتیک
۵	۲۰۶۲	۳۲/۲۵	۵۰/۵۵	فارسان	فارسان	چهارمحال و بختیاری	سینوپتیک
۶	۶/۶	۳۰/۳۷	۴۸/۲۱	آبادان	آبادان	خوزستان	سینوپتیک
۷	۳۵۴	۳۲/۶۶	۴۸/۲۵	حسینیه	اندیمشک	خوزستان	سینوپتیک
۸	۲۲/۵	۳۱/۳۴	۴۸/۷۴	اهواز	اهواز	خوزستان	سینوپتیک
۹	۱۲	۳۱/۲۵	۴۸/۵۵	اهواز (کشاورزی)	اهواز	خوزستان	سینوپتیک
۱۰	۷۶۷	۳۱/۸۴	۴۹/۸۵	ایذه	ایذه	خوزستان	سینوپتیک
۱۱	۱۴۵۷	۳۱/۷	۵۰/۲۸	دهدز	ایذه	خوزستان	سینوپتیک
۱۲	۱۴۳	۳۲/۴	۴۸/۳۸	دزفول (فرودگاه)	دزفول	خوزستان	سینوپتیک
۱۳	۸۲/۹	۳۲/۲۵	۴۸/۴۳	صفی‌آباد (دزفول)	دزفول	خوزستان	سینوپتیک
۱۴	۶۵	۳۲/۱۹	۴۸/۲۳	شوش	شوش	خوزستان	سینوپتیک
۱۵	۶۷	۳۲/۰۵	۴۸/۸۳	شوشتر	شوشتر	خوزستان	سینوپتیک
۱۶	۷۰	۳۲/۲۲	۴۸/۸	گتوند	گتوند	خوزستان	سینوپتیک
۱۷	۳۶۵	۳۲/۳۳	۴۹/۰۹	لالی	لالی	خوزستان	سینوپتیک
۱۸	۳۲۰	۳۱/۹۸	۴۹/۲۴	مسجدسلیمان	مسجدسلیمان	خوزستان	سینوپتیک
۱۹	۱۸۱۶	۳۰/۶۹	۵۱/۵۵	یاسوج	بویراحمد	کهگیلویه و بویراحمد	سینوپتیک
۲۰	۲۱۳۳	۳۰/۸۴	۵۱/۴۶	سی سخت	دنا	کهگیلویه و بویراحمد	سینوپتیک
۲۱	۱۸۷۱	۳۳/۴۴	۴۹/۴	ازنا	ازنا	لرستان	سینوپتیک
۲۲	۲۰۲۲	۳۳/۴	۴۹/۷	الیگودرز	الیگودرز	لرستان	سینوپتیک
۲۳	۱۵۹۱	۳۳/۱۸	۴۹/۱۸	شول آباد	الیگودرز	لرستان	سینوپتیک
۲۴	۱۶۲۹	۳۳/۹۱	۴۸/۷۵	بروجرد	بروجرد	لرستان	سینوپتیک
۲۵	۱۵۲۲	۳۳/۵۲	۴۹	دورود	دورود	لرستان	سینوپتیک
۲۶	۱۴۹۶	۳۳/۷۳	۴۸/۸۶	سیلاخور	دورود	لرستان	سینوپتیک

جدول ۲. داده‌های مورداستفاده باز تحلیل

	نوع داده	منبع	متغیر - باند	تفکیک مکانی	تفکیک زمانی	دوره زمانی
۱	حداکثر دمای روزانه	ERA 5	T_{max}	۰/۲۵×۰/۲۵ درجه	روزانه	۱۳۹۹-۱۳۸۹
۲	حداقل دمای روزانه	ERA 5	T_{min}	۰/۲۵×۰/۲۵ درجه	روزانه	
۳	میانگین دما روزانه	ERA 5	T_{mean}	۰/۲۵×۰/۲۵ درجه	روزانه	
۴	دمای نقطه شبنم	ERA 5	T_{dew}	۰/۲۵×۰/۲۵ درجه	روزانه	
۵	سرعت باد	ERA 5	Wind Speed	۰/۲۵ ×۰/۲۵درجه	روزانه	

تبخیر - تعرق مرجع

معادله پنمن مانتیث دارای کاستی‌هایی بود که توسط سازمان خواربار کشاورزی (فائو) با تعریف گیاه فرضی با ارتفاع ۰/۱۲ متر و مقاومت سطحی ۷۰ ثانیه بر متر و ضریب بازتابش (آلبیدو) ۰/۲۳ که تبخیر آن شباهت بسیار به تبخیر از سطح وسیع چمن سبز با ارتفاع یکنواخت دارد توسعه یافت. معادله کاربردی برای این مدل به‌قرار رابطه (۱) است (Alen et al., 1998).

رابطهٔ ۱)
$$ET0 = \frac{0.408\,\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34\,u_2)}$$

که در آن، ET0، تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm)، Δ شیب منحنی فشار بخار نسبت به درجه حرارت ($Kpa.°C^{-1}$)، Rn تابش خالص ($MJ.m^{-2}.d^{-1}$)، G شار گرما به داخل خاک است که معمولاً صفر در نظر گرفته می‌شود، γضریب رطوبتی ($Kpa\ °C^{-1}$)، T متوسط دمای

روزانه ($^{\circ}C$)، es وea به ترتیب فشار بخار اشباع و فشار واقعی بخار آب (mbar)، U_2 سرعت باد در روز در ارتفاع دو متری از سطح زمین (ms^{-1}) است.

آماره‌های ارزیابی

نتایج به‌دست‌آمده از برآورد تبخیر–تعرق مرجع حاصل از مدل پنمن مانتیث فائو با استفاده از داده‌های ایستگاه زمینی و تبخیر– تعرق مرجع ERA5 و ارزیابی دقت متغیرهای مربوط به آنها با استفاده از دو آمارهٔ خطاسنجی مقایسه شدند این آماره‌ها عبارت‌اند از:

$$\mathrm{nRMSE} = \frac{\mathrm{RMSE}}{\bar{O}} \quad \text{رابطهٔ ۲)}$$

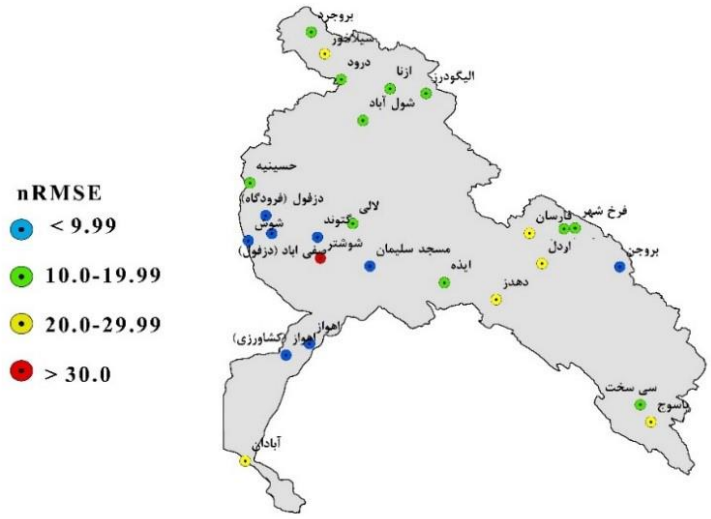
$$rMBE = (\frac{100}{\bar{O}}) \times {}^{1}/_{n} \sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)) \quad \text{رابطهٔ ۳)}$$

که در آن O_i مقادیر مشاهداتی تبخیر–تعرق مرجع در مقیاس‌های زمانی روزانه و P_i مقادیر پیش‌بینی شده و استخراج شده از سامانه ERA5 می‌باشند. مقداراریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE) بیان‌کننده وضعیت مدل‌سازی است. مقدارکمتر از ۱۰٪ وضعیت ایده‌آل، بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به‌ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در برآورد و بیشتر از ۳۰٪ نشان‌دهنده عدم اطمینان به مدل است (Andarzian et al., 2011). rMBE برای ارزیابی خطای اریبی مدل و خطای سیستماتیک استفاده می‌شود. rMBE منفی نشان دهنده کم برآوردی مدل و مقدار مثبت آن نشان دهنده بیش برآوردی آن است. مقدار rMBE صفر درصد بهترین عملکرد را نشان می‌دهد (Heidari Motlagh et al, 2022).

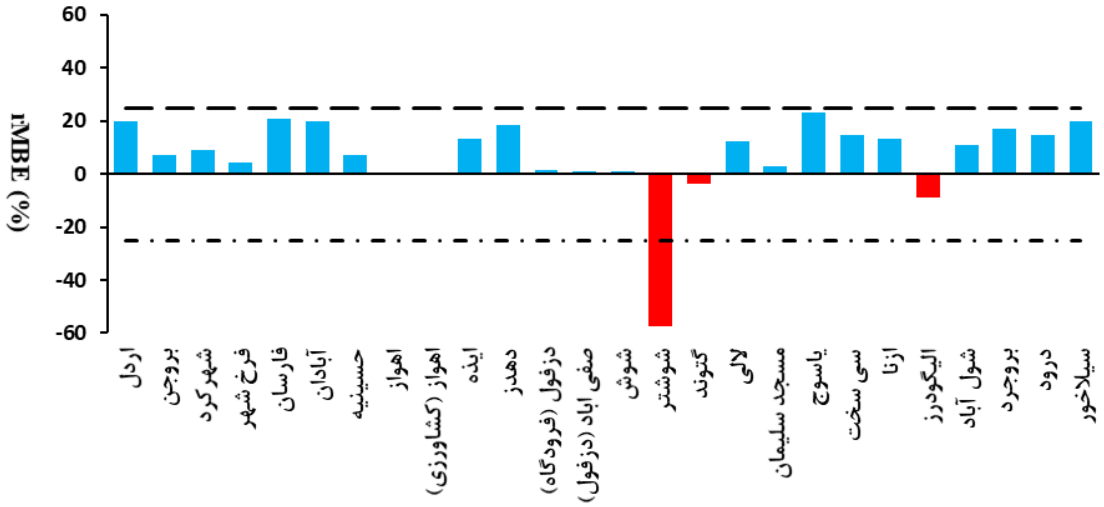
نتایج و بحث

ارزیابی دمای حداکثر

داده‌های باز تحلیل در حوضه آبریز کارون در مجموع ۲۶ ایستگاه سینوپتیک موجود در تمامی ایستگاه‌ها به‌غیراز ایستگاه صفی آباد دزفول، دمای حداکثر را با nRMSE بیشتر از ۳۰ درصد نشان دادند(شکل ۲). همچنین آماره rMBE نیز نتایج رضایت‌بخشی را نشان داد و تنها ایستگاه شوشتر کم برآورد بیشتر از منفی ۲۵ درصد را نشان داد. کمترین مقدار خطا مربوط به ایستگاه کشاورزی اهواز بود که سه درصد خطا را نشان داد (شکل ۳).



شکل ۲. مقادیر nRMSE دمای حداکثر در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

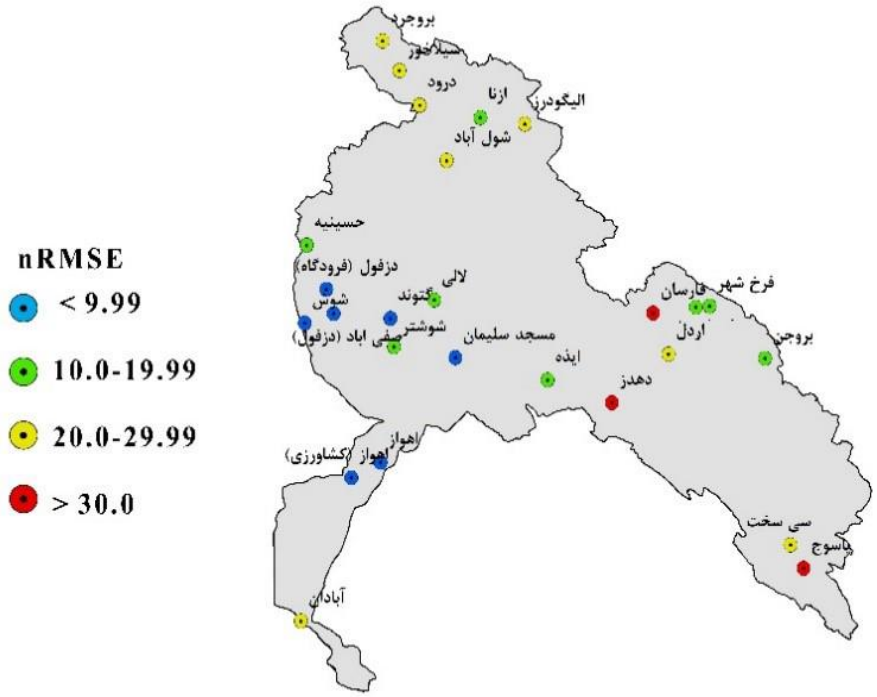


شکل ۳. مقادیر rMBE دمای حداکثر در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

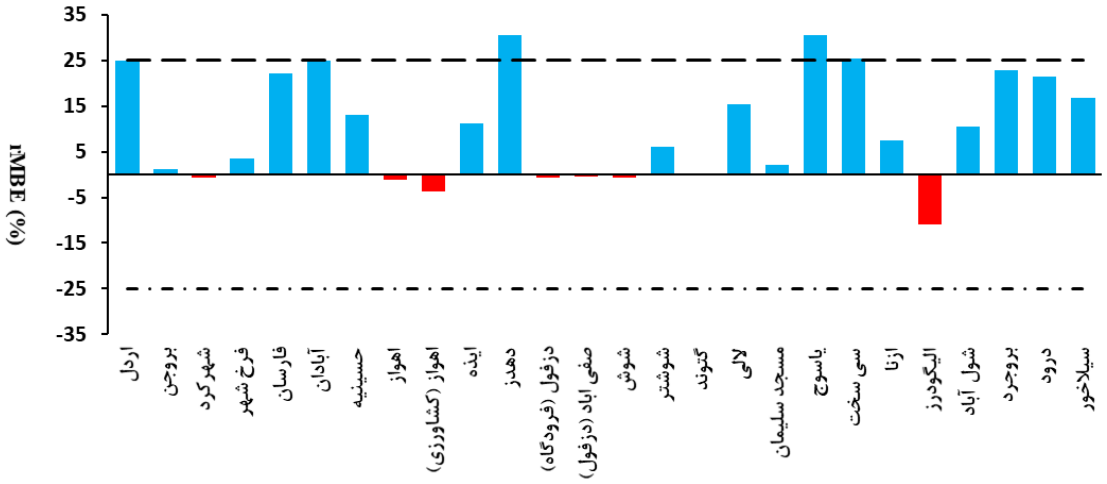
نتایج تحقیق برای مقادیر دمای حداکثر با نتایج Raziei et al., (2021) که از داده‌های باز تحلیل NCEP/NCAR برای ایران استفاده نمودند همخوانی و مطابقت نشان داد. نتایج همچنین نشان داد که عملکرد داده‌های باز تحلیل در غرب حوضه آبریز که در محدوده استان خوزستان قرار دارند به جز ایستگاه آبادان با مقادیر خطای کمتر از ۱۰ درصد دمای حداکثر را برآورد نموده است.

ارزیابی دمای میانگین

داده‌های باز تحلیل در حوضه آبریز کارون نشان داد که دمای میانگین را در ایستگاه‌های یاسوج، دهدز و فارسان با nRMSE بیشتر از ۳۰ درصد نشان داد شکل(۴). همچنین آماره rMBE نیز در سه ایستگاه یاسوج، دهدز و سی سخت مقدار ۳۲ درصد بیش برآورد را نشان دادند. به‌عبارت‌دیگر داده‌های بازتحلیل نسبت به ایستگاه‌های زمینی مقادیر دمای میانگین را بیشتر ارائه نمودند (شکل ۵).



شکل ٤. مقادیر nRMSE دمای میانگین در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

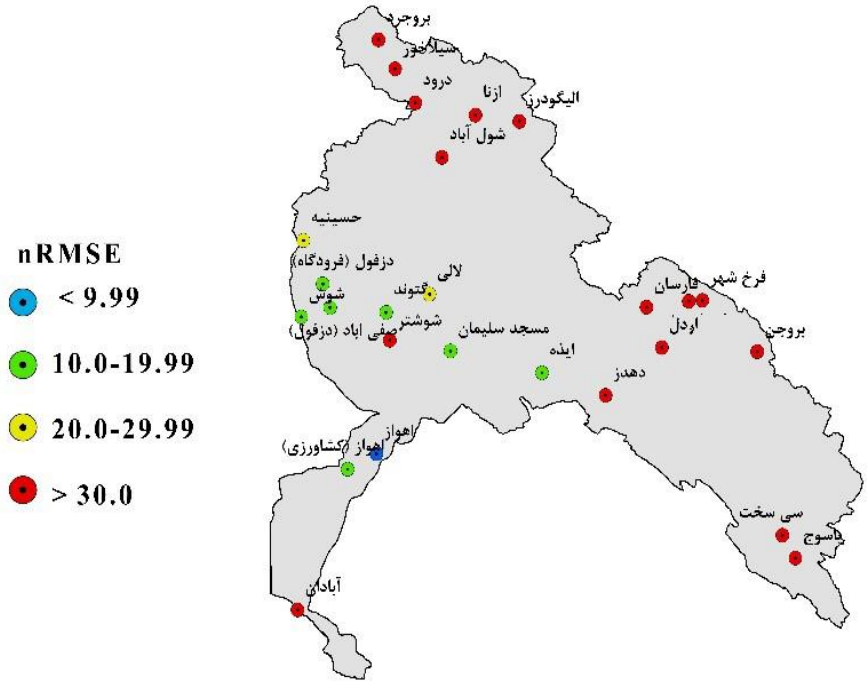


شکل ۵. مقادیر rMBE دمای میانگین در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

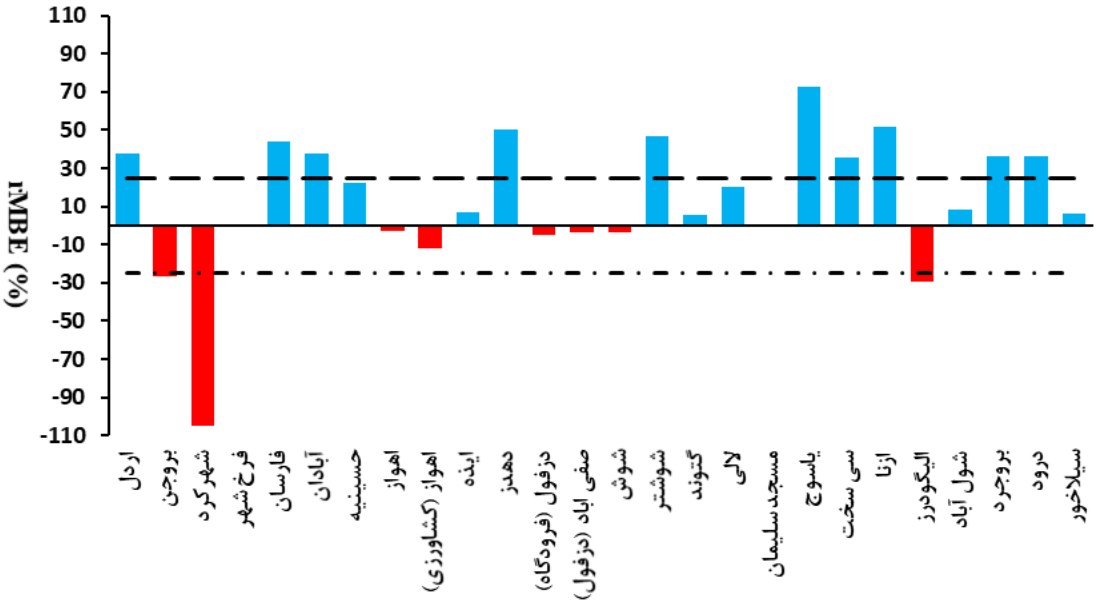
متغیر دمای میانگین از متغیرهای است که تأثیر مستقیم در مقادیر تبخیر – تعرق مرجع با استفاده از رابطه فائو پنمن مانتیث دارد. به عبارتی این متغیر، متغیر حساسی در مقابل تغییرات تبخیر – تعرق مرجع است.

ارزیابی دمای حداقل و دمای نقطه شبنم

داده‌های باز تحلیل در حوضه آبریز کارون، برای متغیرهای دمای حداقل و دمای نقطه شبنم آماره‌های خطای مناسبی را نشان نداد، البته ازآنجائی‌که ERA5 در برآورد دمای حداکثر و دمای میانگین عملکرد مناسبی را نشان داد و به نظر می‌رسد مقدار خطای ارائه شده در دمای حداقل و دمای نقطه شبنم مربوط به معادله آماره nRMSE بر می‌گردد. چرا که در مخرج عبارت مقدار میانگین داده‌های مشاهداتی را در خود جای‌داده است و نظر به اینکه این دو متغیر مقادیر آنها در دامنه مقادیر صفر نوسان دارد، لذا مقادیر خطای بالای را نشان می‌دهد (شکل ۶ الی شکل ۹).

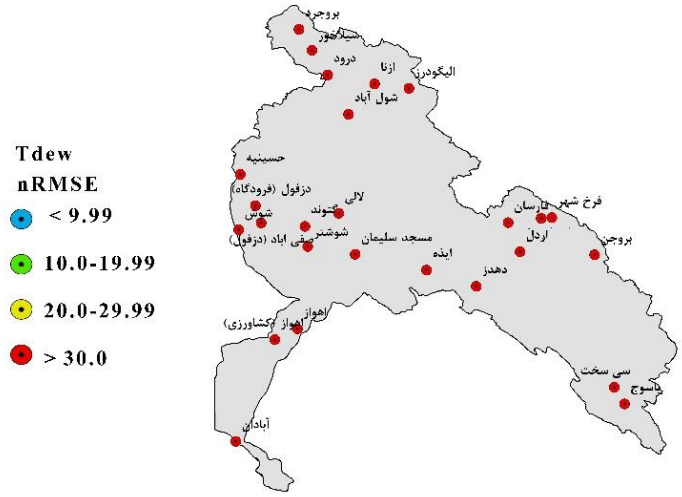


شکل ٦. مقادیر nRMSE دمای حداقل در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

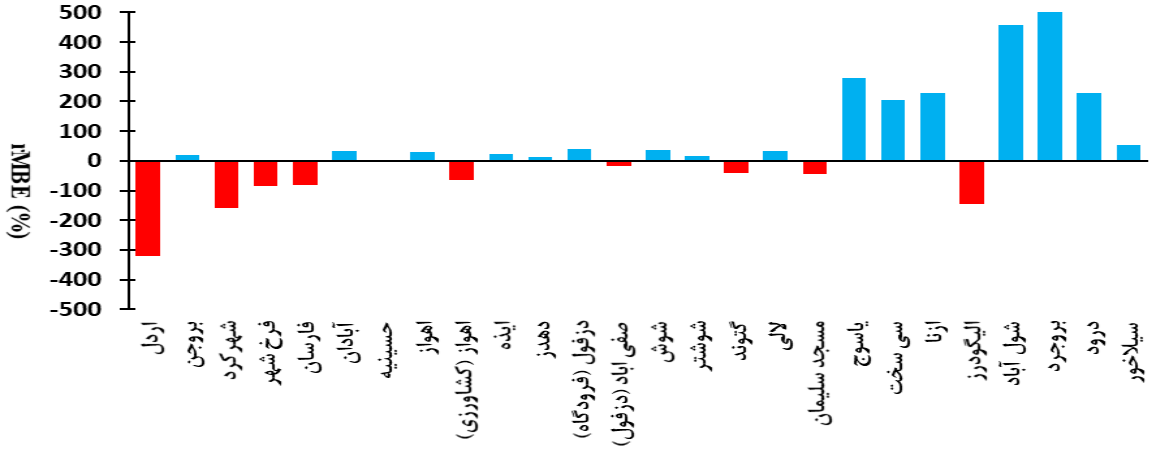


شکل ۷. مقادیر rMBE دمای حداقل در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

شایان‌ذکر است، در مناطق گرمسیری حوضه آبریز که مقادیر میانگین دمای حداقل ایستگاه‌های سینوپتیک بالا است؛ مانند ایستگاه اهواز عملکرد آماره خطا پایین است.



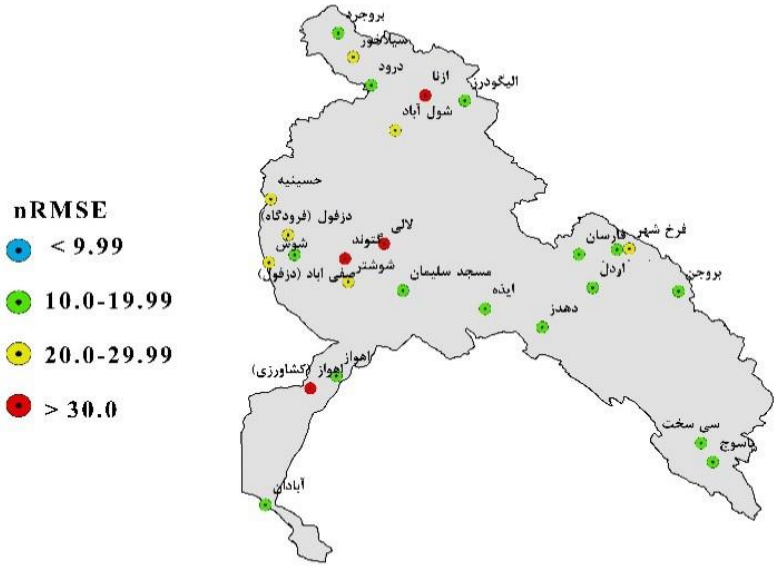
شکل ۸. مقادیر nRMSE دمای نقطه شبنم در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5



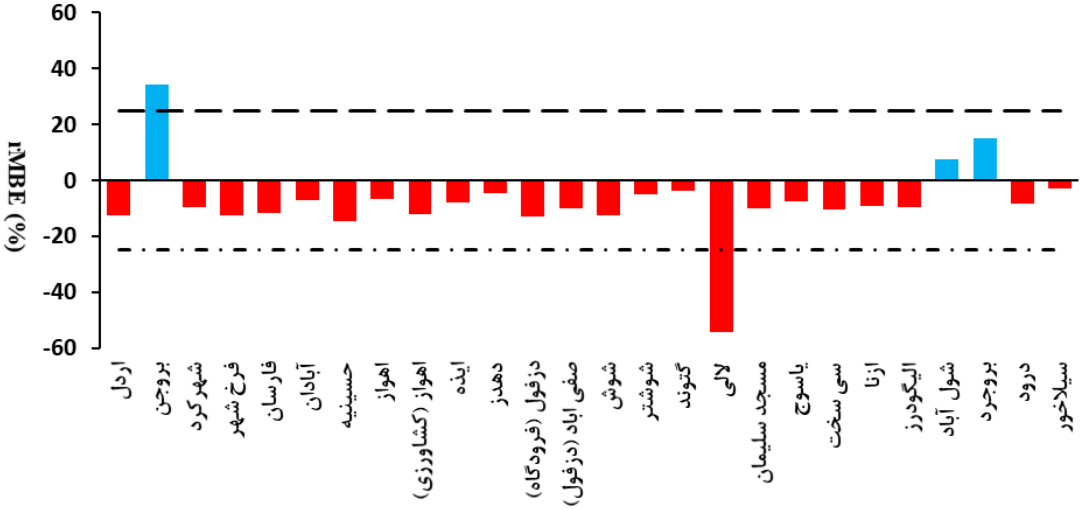
شکل ۹. مقادیر rMBE دمای نقطه شبنم در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

ارزیابی شدت تشعشع خورشیدی

برای متغیر شدت تشعشع خورشیدی تنها در چهار ایستگاه گتوند، شوش، ازنا و اهواز خطای بالای ۳۰ درصد را نشان داد. نتایج نشان داد که داده‌های باز تحلیل نسبت به متغیرهای دیگر عملکرد مناسب‌تری را نشان داد، به‌طوری‌که در ۱۸ ایستگاه از ایستگاه‌های محدوده حوضه آبریز کارون خطای کمتر از ۲۰ درصد را نشان داد (شکل ۱۰). Nouri et al., (2017) در تحقیقی مشابه نشان دادند که عملکرد ERA5 نسبت به پایگاه‌داده‌های بازتحلیل دیگر مانند GLDAS در محدوده ایران و در مقیاس زمانی ماهانه و به‌طورکلی مناطق خشک و نیمه شدت تشعشع خورشیدی را بادقت مناسب‌تری ارائه می‌دهد؛ لذا به نظر می‌رسد با افزایش بازه زمانی از مقیاس روزانه به ماهانه به‌مراتب شدت تشعشع خورشیدی مناسب‌تری از پایگاه‌داده ERA5 برآورد گردد. همچنین در آماره خطای rMBE ایستگاه‌های بروجن و لالی به ترتیب بیش برآورد و کم برآورد بالای ۲۵ درصد را نشان داد و بقیه ایستگاه‌ها مقادیر rMBE کمتر از ۱۵ درصد بود (شکل ۱۱).



شکل ۱۰. مقادیر nRMSE شدت تشعشع خورشیدی در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

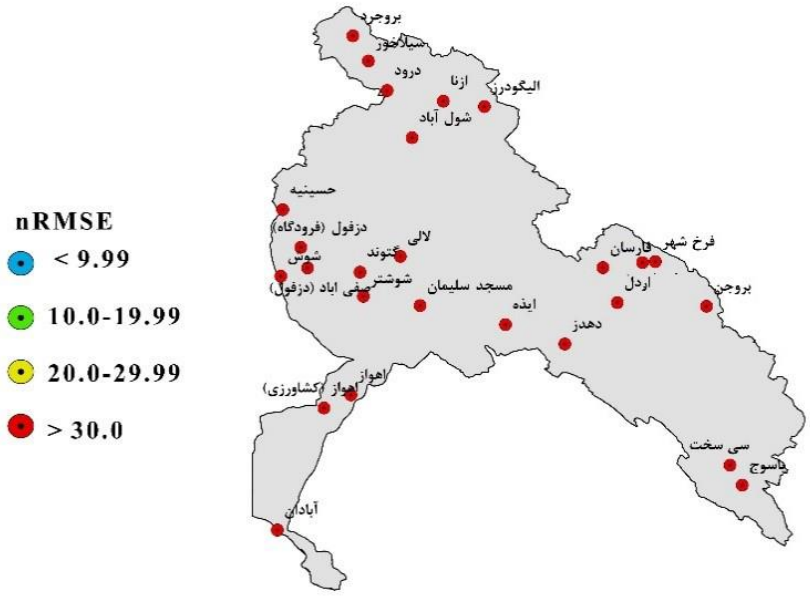


شکل ۱۱. مقادیر rMBE شدت تشعشع خورشیدی در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

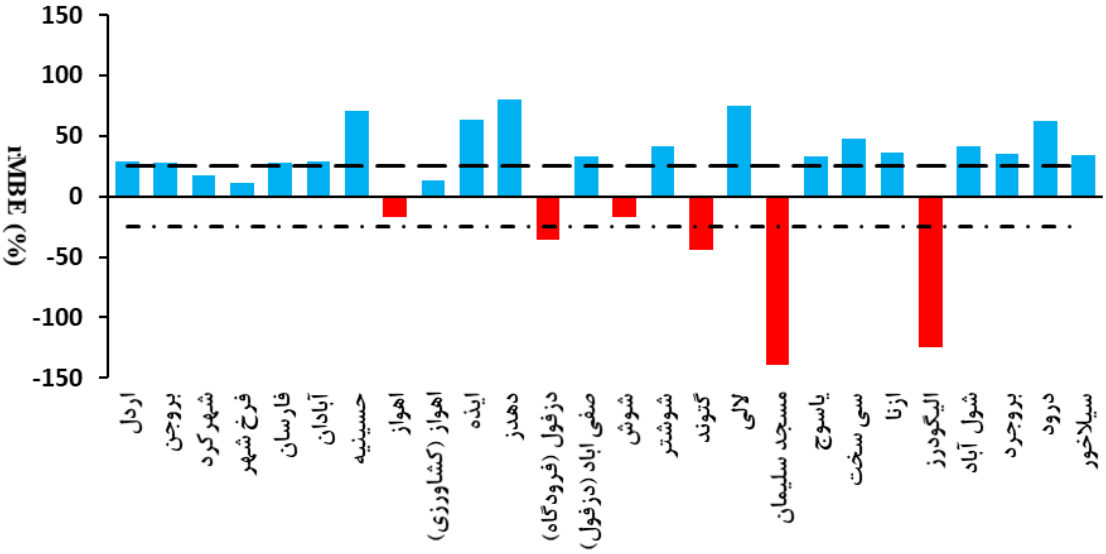
ارزیابی سرعت باد

نتایج نشان داد که پایگاه‌داده ERA5 برای تمامی ایستگاه‌های محدوده حوضه آبریز کارون خطای بالای ۳۰ درصد را برای مقادیر سرعت باد نشان داد (شکل ۱۲). همچنین آماره rMBE نیز تنها در ایستگاه‌های فرخ شهر، شهر کرد، اهواز، اهواز کشاورزی و شوش بیش برآورد

و کم برآورد کمتر از ۲۵ درصد را نشان دادند (شکل ۱۳). Molaei and Lashkari, (2020) در طی تحقیق خود برای کل ایران نشان دادند که به طور کل داده‌های بازتحلیل در برآورد مقادیر باد ارتفاع ۲ متر دچار ضعف اساسی هستند. نظر به اینکه پایگاه‌داده ERA5 مقادیر سرعت باد را در دو جهت افقی و عمودی و در ارتفاع ۱۰ متری نشان می‌دهد و پس از تبدیل آن به‌سرعت باد ارتفاع ۲ متری در برآورد تبخیر – تعرق مرجع بکار گرفته شد.



شکل ۱۲. مقادیر nRMSE و سرعت باد در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5



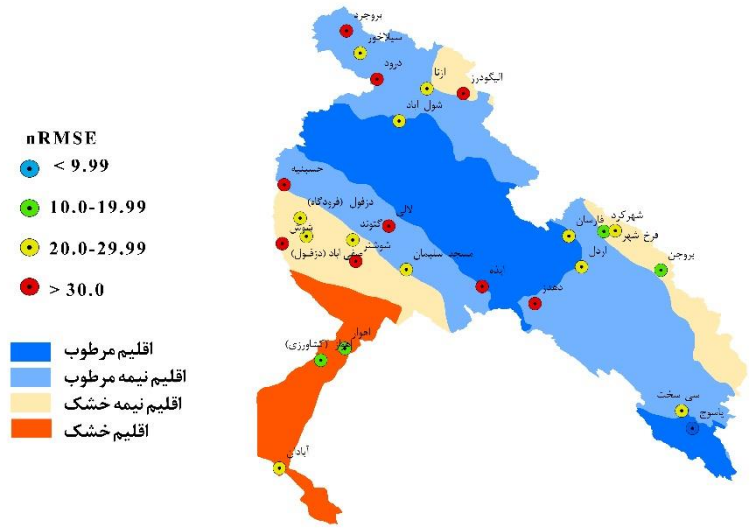
شکل ۱۳. مقادیر rMBE سرعت باد در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

از دیگر نکات قابل‌تأمل که می‌توان به آن اشاره کرد آن است که سرعت باد بر خلاف متغیرهای دیگر که از نوع اسکالر (نرده‌ای) هستند، این متغیر از نوع برداری و دارای جهت است که این نیز می‌تواند نشان‌دهنده آن باشد که پایگاه‌داده‌های باز تحلیل در برآورد متغیرهای برداری با چالش روبرو هستند.

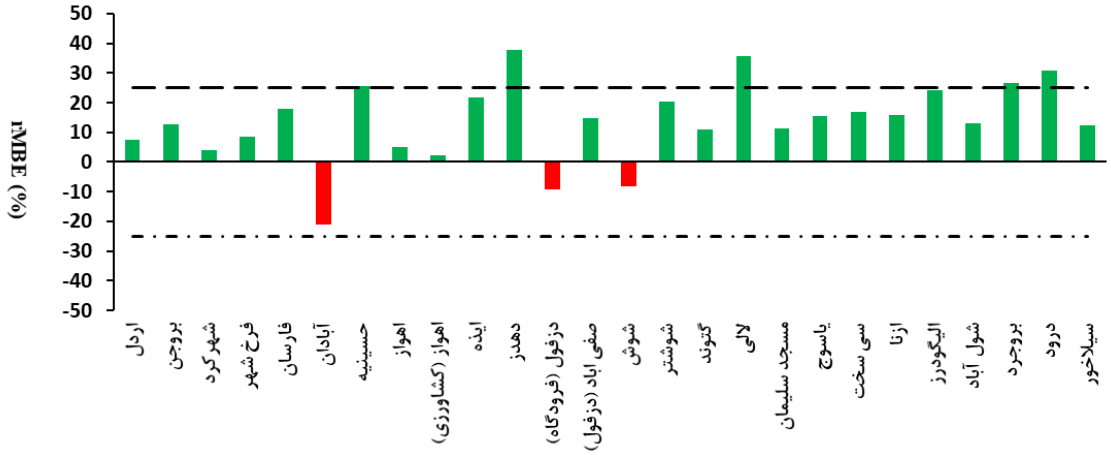
ارزیابی تبخیر – تعرق مرجع

پس از بررسی تک‌تک متغیرهای مؤثر در برآورد تبخیر – تعرق مرجع، نسبت به برآورد تبخیر – تعرق مرجع در محل هر ایستگاه با استفاده

از داده‌های بازتحلیل ERA5 در مقیاس روزانه اقدام شد. نتایج نشان داد که ۹ ایستگاه از ۲۶ ایستگاه موجود خطای بالای ۳۰ درصد را گزارش نمودند. به‌عبارت‌دیگر تقریباً در دو سوم از ایستگاه‌های موجود در حوضه آبریز کارون نتایج قابل قبولی را ارائه داد. تنها ایستگاهی که با nRMSE کمتر از ۱۰ درصد مقادیر تبخیر – تعرق مرجع را گزارش نمود، ایستگاه یاسوج بود و بقیه ایستگاه‌ها در محدوده ۱۰ تا ۳۰ درصد خطا مقادیر تبخیر – تعرق مرجع را نشان داد (شکل ۱۴). علاوه بر این آماره rMBE نیز تنها در ایستگاه‌های حسینیه، دهدز، لالی و بروجرد بیش برآورد و کم برآورد کمتر از ۲۵ درصد را نشان دادند (شکل ۱۵).



شکل ۱۴. مقادیر nRMSE تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5 بر اساس طبقه بندی اقلیمی حوزه



شکل ۱۵. مقادیر rMBE تبخیر و تعرق مرجع در مقیاس روزانه برای داده‌های باز تحلیل ERA5

همچنین ارزیابی نتایج تبخیر – تعرق مرجع به دست آمده از ایستگاه‌های مورد بررسی در سطح حوضه بر اساس نوع اقلیمی که در آن قرار گرفته بود نشان داد که تنها ایستگاهی که خطای کمتر از ۱۰ درصد را داشت ایستگاه یاسوج بوده که دربخش‌های جنوب شرقی حوزه و در اقلیم مرطوب واقع شده است. ایستگاه‌هایی که خطای بین ۱۰ تا ۲۰ درصد را دار هستند در اقلیم‌های خشک و نیمه خشک قرار داشته و در سایر اقلیم‌های موجود در حوضه هیچ ایستگاهی در این محدوده خطا قرار ندارد. از مجموع ۱۲ ایستگاهی که خطای بین ۲۰ تا ۳۰ درصد را کسب نموده اند تعداد ۲ایستگاه در اقلیم مرطوب، ۵ ایستگاه در اقلیم نیمه مرطوب، ۴ ایستگاه در اقلیم نیمه خشک و ۱ ایستگاه در اقلیم خشک قرار گرفته است. همچنین از مجموع ۹ ایستگاهی که خطای بالای ۳۰ درصد را کسب نموده اند تعداد ۶ ایستگاه در اقلیم مرطوب و نیمه مرطوب قرار داشته و تنها ۳ ایستگاه در اقلیم نیمه خشک قرار دارند. بررسی نتایج بر اساس وضعیت اقلیمی منطقه بر اساس کلاس‌های خرد اقلیم و کلاس‌های اقلیم‌های اصلی روندی مشخص مبنی بر تاثیر اقلیم مشاهده نگردید. بررسی نتایج با در کنار

هم گذاشتن با پژوهش‌های دیگر مانند (Barideh et al, 2022) که از پایگاه داده WaPOR استفاده نمودند، نشان می‌دهد که بطور کلی می‌توان مقدار nRMSE روزانه در بازه ۱۵ تا ۳۰ درصد را برای تبخیر –تعرق مرجع داده‌های باز تحلیل متصور شد. همچنین ۱۱ ایستگاه از ایستگاه‌های این تحقیق با پژوهش Nouri et al (2022) مشترک و نتایج یکسانی اخذ شد.

بطور کلی مقدار میانگین nRMSE برای تبخیر–تعرق مرجع تمامی ایستگاه‌ها ۲۳ درصد است. خطای برآورد شده بالای ۳۰ درصد در ۹ ایستگاه نشان داد که این ایستگاه علاوه بر خطای در مقادیر سرعت باد، حداقل در یکی دیگر از متغیرها دیگر دارای خطای بالای ۳۰ درصد هستند. ازآنجائی‌که تمامی ایستگاه‌ها در برآورد سرعت باد خطای بالا را نشان داد، به نظر می‌رسد در اقلیم‌های مانند اقلیم کشور ما که روند تبخیر – تعرق مرجع وابستگی زیاد به کمبود فشار بخار آب اشباع دارد و به عبارتی روند تغییرات دو متغیر تبخیر – تعرق مرجع و سرعت باد همخوان هستند، نمی‌توان نقش سرعت باد را نادیده گرفت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از داده‌های بازتحلیل ERA5 از سال‌های ۱۳۸۹ الی ۱۳۹۹ در مقیاس روزانه نسبت به برآورد تبخیر – تعرق مرجع اقدام و تک‌تک متغیرهای مؤثر در برآورد این متغیر به‌صورت یک‌به‌یک با مقادیر مشاهداتی در محل ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد. نتایج نشان داد که ERA5 در ۱۷ ایستگاه از ۲۶ ایستگاه سینوپتیک موجود در محدوده حوضه آبریز کارون نتایج رضایت‌بخش و با nRMSE کمتر از ۳۰ درصد را نشان داد. نتایج نشان داد که ERA5 شدت تشعشع خورشیدی و مقادیر میانگین دما و حداکثر دما را به‌طورکلی با مقدار nRMSE کمتر از ۳۰ درصد در بیشتر ایستگاه‌ها نشان می‌دهد. ازآنجائی‌که بیشترین آماره خطا مربوط به داده‌های مقادیر سرعت باد ۲ متری در محل ایستگاه‌های هواشناسی است، لذا پیشنهاد می‌گردد در صورت استفاده از داده باز تحلیل و دردسترس‌بودن باد محل ایستگاه‌ها به‌جای مقادیر باد باز تحلیل استفاده گردد. همچنین این نتایج در سطح حوضه نشان می‌دهد درصورتی‌که در مکان‌های از حوضه که خواهان اجرای پروژه‌های آب‌وخاک هستند و داده‌های هواشناسی در دسترس نمی‌باشد، بکار گیری داده‌های باز تحلیل ERA5 گزینه مناسبی است که به‌صورت پیوسته و در دوره‌های زمانی بلندمدت جهت برآورد تبخیر – تعرق مرجع بکار گرفته شوند. پیشنهاد می‌گردد که از پایگاه‌داده‌های با قدرت تفکیک بالاتر مانند ERA5-Land نسبت به برآورد تبخیر و تعرق مرجع اقدام و مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌گردد که بررسی‌ها بیشتر بر روی پایگاه‌داده ERA5، در مقیاس‌های زمانی ماهانه، فصلی و سالانه صورت پذیرد.

"هیچ گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes And M., Smith, 1998, Crop Evapotranspiration (Guidelines For Computing Crop Water Requirements). FAO Irrigation And Drainage Paper No. 56. *Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome,* Pp.17-18.

Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Barati, M.A. and Rahnama, A. (2011). Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100, 1–8. Available from: https://doi.org/10.1016/J.AGWAT.2011.08.023.

Asadi Oskouei, E., Delsouz Khaki, B., Kouzegaran, S., Navidi, M. N., Haghighatd, M., Davatgar, N., & Lopez-Baeza, E. (2022). Mapping Climate Zones of Iran Using Hybrid Interpolation Methods. Remote Sensing, 14(11), 2632.

Barideh, R., Veysi, S., Ebrahimipak, N., and Davatgar, N. (2022). The challenge of reference evapotranspiration between the WaPOR data set and geostatistical methods. *Irrigation and Drainage*, 71(5), 1268-1279

Eyre, J. R. (1964). Progress achieved on assimilation of satellite data in numerical weather prediction over the last 30 years. In ECMWF Seminar Proceedings: Recent Developments in use of satellite observations in numerical weather prediction (pp. 1-27).

Eyre, J. R., Kelly, G. A., McNally, A. P., Andersson, E., & Persson, A. (1993). Assimilation of TOVS radiance information through one-dimensional variational analysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological

Society, 119(514), 1427-1463.
Galehban, E., Hamzeh, S., Veysi, sh., and Alavipanah, S.K. (2022). Estimation of Daily Reference Evapotranspiration Using Remote Sensing Data (Case Study: Sistan and Baluchestan Province). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 14(2), 37-50.
Gundekar, H. G., Khodke, U. M., and Sarkar, S. (2008). Evaluation of Pan Coefficient for Reference Crop Evapotranspiration for Semi-Arid Region. *Irrigation Science*, 26,169–175.
Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., and Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049.
Heidari Motlagh, A., Nasrolahi, A., Veysi, S., & Sharifipour, M. (2022). The Influence of Land Surface Temperature (LST) in Actual Evapotranspiration Estimated. Iranian Journal of Soil and Water Research.
Han, W., & Xue, J. (2007, November). Adaptive tuning of background error and satellite radiances observation error for operational variational assimilation. In MIPPR 2007: Remote Sensing and GIS Data Processing and Applications; and Innovative Multispectral Technology and Applications (Vol. 6790, pp. 1063-1071). SPIE.
Harris, B. A., & Kelly, G. (2001). A satellite radiance-bias correction scheme for data assimilation. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 127(574), 1453-1468.
Makwana, J. J., Tiwari, M. K., and Deora, B. S. (2023). Development and comparison of artificial intelligence models for estimating daily reference evapotranspiration from limited input variables. *Smart Agricultural Technology*, *3*, 100115.
Molaei, A., and Lashkari, H. (2020). Investigation of wind speed trend changes in central Iran using ECMWF Reanalysis data. *Physical Geography Research Quarterly*, 52(3), 481-498.
Nouri, M., and Homaee, M. (2022). Reference crop evapotranspiration for data-sparse regions using reanalysis products. *Agricultural Water Management*, 262, 107319.
Paredes, P., Martins, D.S., Pereira, L.S., Cadima, J., and Pires, C. (2018). Accuracy of daily estimation of grass referenceevapotranspiration using era-interim reanalysis products with assessment of alternative bias correctionschemes. *Agricultural Water Management*, 210, 340–353.
Pelosi, A., and Chirico, G. B. (2021). Regional assessment of daily reference evapotranspiration: Can ground observations be replaced by blending ERA5-Land meteorological reanalysis and CM-SAF satellite-based radiation data? *Agricultural Water Management*, 258, 107169.
Pelosi, A., Terribile, F., D'Urso, G., and Chirico, G. B. (2020). Comparison of ERA5-Land and UERRA MESCAN-SURFEX reanalysis data with spatially interpolated weather observations for the regional assessment of reference evapotranspiration. *Water*, 12(6), 1669.
Raziei, T., and Parehkar, A. (2021). Performance evaluation of NCEP/NCAR reanalysis blended with observation-based datasets for estimating reference evapotranspiration across Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 144(3), 885-903.

Estimation and evaluvation of reference evapotranspiration using ERA5 dataset

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

Reference Evapotranspiration (ET0) is a complex hydrological variable that is defined by various climatic factors affecting water and energy balances. These balances are critical for determining crop water requirements and irrigation scheduling. The most common method for estimating ET0 is using meteorological data and applying the FAO Penman-Monteith equation. However, meteorological stations are often located at a distance away from agriculture areas, and may not provide accurate ET0 due to the conditions at specific locations. This has led to the development of various empirical methods for estimating ET0 based on rigorous climatic data. In places where climatic data is not readily available, the use of reanalysis datasets, such as ERA5, can provide a suitable alternative for ET0 estimation.

Objective

The objective of this study is to evaluate the meteorological data from the ERA5 dataset and compare the estimated ET0 values obtained from the weather station to those obtained from the reanalysis dataset.

Materials and methods

For the purpose of this study, data related to ET0 estimation, such as minimum temperature (Tmin), maximum temperature (Tmax), average temperature (Tmean), dew point temperature (Tdewpoint), sunshine (SR), and average relative humidity (RHmean), were collected from 26 synoptic stations in the Karun basin over the period of 2010-2020. These data was then compared to the corresponding data from the ERA5 datasets. ET0 was estimated on a daily temporal resolution using the Penman-Monteith method from FAO 56, and the results were compared to the field measurements. Finally, the accuracy of the two methods for estimating ET0 was assessed using statistical indices, including nRMSE and rMBE.

Results and discussion

The results of the comparison between the ERA5 dataset and the synoptic stations in the Karun basin showed that Tmax had an nRMSE of less than 30% in all stations, except for Safi Abad Dezful. Tmean had an nRMSE of more than 30% in Yasuj, Dehdz, and Farsan stations. Additionally, the variables of Tmin, Tdew, and U2 had high nRMSE values. The solar radiation variable showed an error of more than 30% in four stations, Gatvand, Shush, Azna, and Ahvaz, indicating a relatively good performance of this parameter. The evaluation of ET0 showed that in 9 out of 26 stations, the error was more than 30%. In other words, the ET0 estimated from the ERA5 dataset provided acceptable results in approximately two-thirds of the stations in the Karun catchment.

Conclusion

After evaluating the reference evapotranspiration and the key parameters affecting its estimation from the ERA5 dataset with the data from the synoptic stations in the Karun catchment, the results showed that the ERA5 dataset produced satisfactory results. However, the highest error was found to be related to the U2 values at the weather station locations. It is therefore suggested to use meteorological U2 values instead of wind values from the reanalysis dataset. If meteorological data is not available at the catchment scale, reanalysis datasets such as ERA5 can be implemented as a suitable alternative.

Keywords: ET0, Penman monteith, Reanalysis, Karun catchment.