



Evaluation of the accuracy of the ERA5-Land database in estimating climatic parameters, evapotranspiration, and drought index in the Varamin region

Negar Behizadi¹ | Jaber Soltani² | Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdare³ |
Ali Reza Massah Bavani⁴ | Behzad Azadegan⁵

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: negar.behizadi@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: jsoltani@ut.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: sehashemi@ut.ac.ir
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: armassah@ut.ac.ir
5. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology (Aburihan), University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: bazad@ut.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 21 December 2025
Received in revised form
21 February 2026
Accepted 25 April 2026
Published online 22 August 2026

Keywords:

Reanalysis data
Statistical validation
Synoptic station
Water resources management

ABSTRACT

In this study, the accuracy of the ERA5-Land reanalysis dataset in estimating climatic parameters (precipitation, temperature, wind speed, and evapotranspiration) over the Varamin Plain was evaluated by comparison with data from the Varamin synoptic station during the common period of 2007–2023. The validation results indicated that ERA5-Land shows satisfactory performance in estimating daily maximum, minimum, and mean temperatures ($R^2 > 0.95$), daily evapotranspiration ($R^2 > 0.85$), and monthly precipitation ($R^2 > 0.70$) in the study area. However, the dataset demonstrated lower accuracy in estimating daily precipitation and wind speed. Given the acceptable performance of ERA5-Land, the drought indices SPI-1 and SPEI-2 were calculated at 3-, 6-, 12-, and 24-month time scales for the long-term period of 1990–2023 (33 years) using data from this dataset. The drought monitoring results indicate that the Varamin Plain has entered a regime of severe and persistent drought since approximately 2014. Furthermore, the findings suggest that in warm and semi-arid regions of Iran, the SPEI index—due to its consideration of warming effects and increased evapotranspiration—provides a more accurate and reliable tool than SPI for drought monitoring and water resources management.

Cite this article: Behizadi, N., Soltani, J., Hashemi Garmdare, S. E., Massah Bavani, A. R., & Azadegan, B. (2026). Evaluation of the accuracy of the ERA5-Land database in estimating climatic parameters, evapotranspiration, and drought index in the Varamin region. *Journal of Water and Irrigation Management*, 16 (2), 237-252. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.408285.1276>





ارزیابی دقت پایگاه داده ERA5-Land در برآورد پارامترهای اقلیمی، تبخیر تعرق و شاخص خشک سالی منطقه ورامین

نگار بهی زادی^۱ | جابر سلطانی^۲ | سید ابراهیم هاشمی گرمدره^۳ | علیرضا مساح بوانی^۴ | بهزاد آزادگان^۵

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: negar.behizadi@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: jsoltani@ut.ac.ir

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: sehashemi@ut.ac.ir

۴. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: armassah@ut.ac.ir

۵. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: bazad@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	در این پژوهش، دقت پایگاه داده بازتحلیل ERA5-Land در برآورد پارامترهای اقلیمی (بارش، دما، سرعت باد و تبخیر و تعرق) در دشت ورامین با مقایسه داده‌های ایستگاه سینوپتیک ورامین طی دوره مشترک ۲۰۰۷-۲۰۲۳ ارزیابی شد. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که ERA5-Land در برآورد روزانه دمای حداکثر، حداقل و میانگین ($R^2 < 0/95$) و تبخیر و تعرق روزانه ($R^2 < 0/85$) و بارش ماهانه ($R^2 < 0/70$) دارای عملکردی قابل قبول در این منطقه می‌باشد، اما در خصوص بارش روزانه و سرعت باد دقت پایینی از خود نشان می‌دهد. با توجه به عملکرد مناسب داده‌های پایگاه داده ERA5-Land، شاخص‌های خشک سالی SPI و SPEI در مقیاس‌های سه، شش، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای دوره بلندمدت ۳۳ ساله (۱۹۹۰-۲۰۲۳) با استفاده از داده‌های این پایگاه محاسبه گردید. نتایج پایش خشک سالی حاکی از ورود دشت ورامین به یک رژیم خشک سالی شدید و مداوم از حدود سال ۲۰۱۴ است. همچنین این مطالعه نشان داده است که در مناطق گرم و نیمه خشک ایران، شاخص SPEI به دلیل در نظر گرفتن اثر گرمایش و افزایش تبخیر و تعرق، ابزار دقیق‌تر و قابل اعتمادتری نسبت به SPI برای پایش خشک سالی و مدیریت منابع آب می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۲/۰۵	
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۵/۳۱	
کلیدواژه‌ها: ایستگاه سینوپتیک داده‌های بازتحلیل صحت‌سنجی آماری مدیریت منابع آب	

استناد: بهی زادی، نگار؛ سلطانی، جابر؛ هاشمی گرمدره، سید ابراهیم؛ مساح بوانی، علیرضا و آزادگان، بهزاد (۱۴۰۵). ارزیابی دقت پایگاه داده ERA5-Land در برآورد پارامترهای اقلیمی، تبخیر تعرق و شاخص خشک سالی منطقه ورامین. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۶ (۲)، ۲۳۷-۲۵۲.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2026.408285.1276>



۱. مقدمه

خشک سالی یکی از مهم ترین بلایای طبیعی ناشی از نوسانات اقلیمی است که با ایجاد خسارت های گسترده اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، بخش های مختلف کشاورزی، شرب و صنعت را تحت تأثیر قرار می دهد. از این رو، پایش خشک سالی و تحلیل تغییرات بارش به منظور افزایش آمادگی و کاهش آسیب پذیری سیستم های منابع آب، ضرورتی انکارناپذیر محسوب می شود. شاخص های خشک سالی SPI^۱ و SPEI^۲ به عنوان پرکاربردترین ابزارهای ارزیابی خشک سالی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته اند (نویدی نساج و همکاران، ۱۳۹۹).

در دهه های اخیر، نوسان و پویایی اقلیم تأثیر عمیقی بر خشک سالی ها، محیط زیست و توسعه اجتماعی گذاشته و بسیاری از چالش های جهانی از جمله ناامنی غذایی، بحران آب، کاهش تنوع زیستی و مسائل سلامت انسانی را تحت تأثیر قرار داده است. در این راستا، پایش دقیق متغیرهای اقلیمی نظیر بارش و دما نقش کلیدی در مدیریت پایدار منابع آب ایفا می کند (Schmidhuber et al., 2007; Singh & Jain, 2010; Pachauri et al., 2014; Tang et al., 2015; Woznicki et al, 2016) با این حال، پراکندگی نامناسب ایستگاه های هواشناسی، کمبود داده و وجود خلأهای آماری، به ویژه در مناطق با توپوگرافی پیچیده، دسترسی به داده های مشاهداتی قابل اعتماد را با محدودیت های جدی مواجه ساخته است (Erfani et al., 2020).

در سال های اخیر، توسعه پایگاه های داده اقلیمی جهانی مبتنی بر مشاهدات زمینی، داده های سنجش از دور و مدل های عددی، امکان پایش وضعیت اقلیمی و منابع آب را در مقیاس های مکانی و زمانی مختلف فراهم کرده است. این پایگاه ها اطلاعات ارزشمند و نزدیک به زمان واقعی را در اختیار پژوهشگران و تصمیم گیران منابع آب قرار می دهند (حسینی موغاری و همکاران، ۱۳۹۷). یکی از مهم ترین این منابع، پایگاه داده مرکز پیش بینی میان مدت جوی اروپا (ECMWF)^۳ است که با تلفیق داده های ایستگاهی، ماهواره ای و مدل های فیزیکی-دینامیکی، متغیرهای جوی و اقلیمی مختلف را شبیه سازی و بازتحلیل می کند (عربی یزدی و همکاران، ۱۳۹۸).

پایگاه داده ERA5-Land به عنوان نسخه ای بهبودیافته از ERA5، با تمرکز ویژه بر متغیرهای سطح زمین، توسط ECMWF در چارچوب برنامه کوپرنیک توسعه یافته است. این پایگاه داده با وضوح مکانی بالا (حدود ۹ کیلومتر در روی سطح زمین)، پوشش زمانی طولانی مدت (از ۱۹۵۰ تاکنون) و پوشش جهانی، داده های متنوعی از جمله دما، بارش، سرعت باد، رطوبت خاک، فشار هوا و دمای نقطه شبنم را ارائه می دهد (Sabater et al., 2021).

مطالعات متعددی به ارزیابی دقت پایگاه های داده بازتحلیل در مناطق مختلف پرداخته اند؛ Salehi و همکاران (۲۰۲۴) عملکرد داده های ERA5-Land، APHRODITE و PERSIANN-CDR را در حوضه حبله رود بررسی کردند که نتایج دقت بالاتر APHRODITE و دقت پایین تر PERSIANN-CDR را نشان داد. Gaona و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از داده های ERA5-Land، نقش کلیدی رطوبت خاک را در تعیین عملکرد غلات در مناطق محدود به آب برجسته کردند. هروی و همکاران (۱۴۰۳) نیز کارایی داده های تبخیر تعرق ERA5-Land را در برآورد تبخیر تعرق استان سمنان تأیید نمودند.

خانیانی و همکاران (۱۴۰۱) نشان دادند که ERA5-Land اغلب متغیرهای اقلیمی را در ایران کم تر از مقادیر مشاهداتی برآورد می کند. حسینی موغاری و همکاران (۱۳۹۵) و حسینی و همکاران (۱۴۰۱) نیز بر تفاوت عملکرد پایگاه های داده جهانی در مناطق مختلف و برتری نسبی ERA5 نسبت به ERA-Interim در پایش خشک سالی تأکید کردند و نشان دادند که شاخص SPEI همبستگی بالاتری نسبت به SPI با داده های مشاهداتی دارد.

دشت ورامین به عنوان یکی از قطب‌های مهم کشاورزی استان تهران، به دلیل وابستگی شدید به منابع آب زیرزمینی و الگوهای بارش محدود، نسبت به خشک‌سالی و تغییرات اقلیمی بسیار آسیب‌پذیر است. کاهش بارندگی و افزایش تبخیرتعلق در سال‌های اخیر، ضرورت پایش دقیق پارامترهای اقلیمی و تحلیل روندهای خشک‌سالی را در این منطقه دوچندان کرده است.

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی دقت پایگاه داده ERA5-Land در برآورد پارامترهای اقلیمی، تبخیر و تعلق و شاخص‌های خشک‌سالی در منطقه ورامین است. بدین منظور، داده‌های ERA5-Land با داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک ورامین مقایسه و صحت‌سنجی شده و سپس تبخیرتعلق و شاخص‌های SPI و SPEI محاسبه و تحلیل می‌گردد. ارزیابی هم‌زمان دقت این پایگاه داده در برآورد پارامترهای اقلیمی، تبخیرتعلق روزانه و شاخص‌های خشک‌سالی در منطقه ورامین، نوآوری اصلی این پژوهش محسوب می‌شود.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲.۱. منطقه مطالعاتی

ورامین یکی از مناطق مهم کشاورزی در جنوب شرقی استان تهران است که به دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص خود، همواره مورد توجه پژوهش‌های مرتبط با منابع آب و تغییرات اقلیمی بوده است. این منطقه اقلیمی خشک و نیمه خشک دارد و میزان بارندگی سالانه آن محدود است، به طوری که بیش‌تر بارش‌ها در فصل‌های پاییز و زمستان رخ می‌دهد. تابستان‌های ورامین بسیار گرم و خشک است و در برخی روزها دمای هوا از ۴۰ درجه سانتی‌گراد فراتر می‌رود، درحالی‌که در زمستان‌ها دما گاهی به زیر صفر می‌رسد.

کشاورزی در ورامین وابستگی زیادی به منابع آب زیرزمینی و جریان‌های سطحی دارد. کاهش بارندگی در سال‌های اخیر و افت سطح آب‌های زیرزمینی، چالش‌های مهمی را برای این بخش ایجاد کرده است. بنابراین، بررسی و ارزیابی پارامترهای اقلیمی منطقه اهمیت زیادی در مدیریت منابع آب و بهینه‌سازی کشاورزی دارد.

مطالعه پارامترهای اقلیمی با استفاده از داده‌های پایگاه ERA5-Land می‌تواند به درک بهتر تغییرات دما، بارش و دیگر شاخص‌های آب‌وهوایی در این منطقه کمک کند. این اطلاعات برای برنامه‌ریزی بهتر در حوزه کشاورزی و مدیریت منابع آب ضروری است، به‌ویژه در شرایطی که تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی تأثیرات مستقیمی بر تولیدات کشاورزی منطقه دارند. در شکل (۱) فلوچارت مراحل انجام این مطالعه نشان داده شده است.

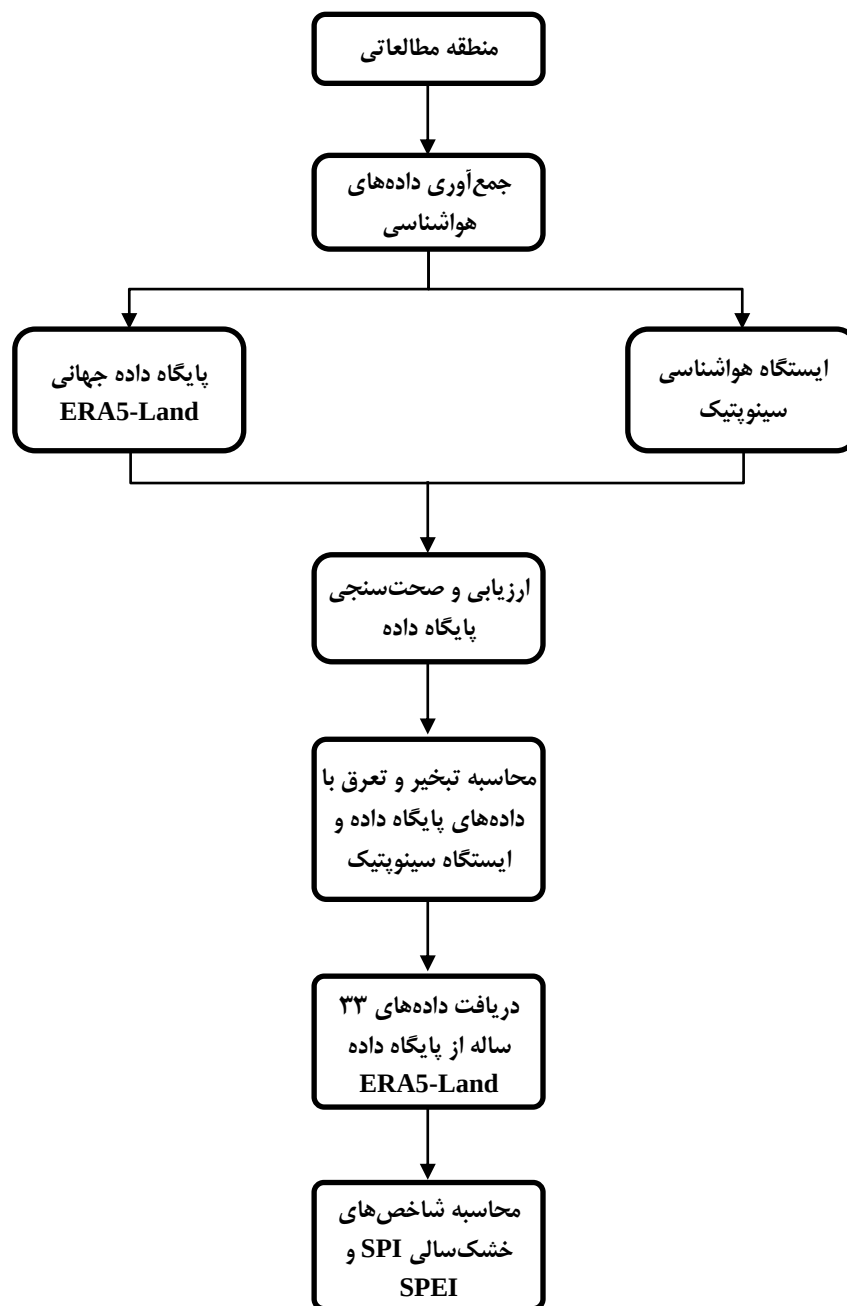
۲.۲. داده‌های مورد استفاده

۲.۲.۱. داده‌های مشاهداتی

داده‌های اقلیمی مشاهداتی در ورامین از ایستگاه سینوپتیک ورامین با طول دوره آماری ۱۶ ساله (۲۰۰۷-۲۰۲۳) جمع‌آوری شد. جدول (۱) اطلاعات سینوپتیک ایستگاه ورامین را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳

نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی				متوسط بارش روزانه (mm)	متوسط دمای روزانه (°C)	متوسط سرعت باد روزانه (m/s)
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)				
سینوپتیک ورامین	۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۷ ثانیه	۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۸ ثانیه	۹۲۷		۰.۳۸	۱۹	۲.۲



شکل ۱. فلوچارت مراحل تحقیق

۲.۲.۲. مرکز پیش‌بینی جوی ECMWF

۲.۲.۲.۱. پایگاه داده ERA5-Land

برای دستیابی به داده‌های بازتحلیل ERA5-Land (Reanalysis Data) از بستر تحت وب Google Earth Engine (GEE) استفاده شد. این سامانه ابری، مجموعه‌ای از داده‌های جهانی از جمله محصولات بازتحلیل مرکز اروپایی

پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF) را به‌صورت رایگان و تحت محیط برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت در اختیار کاربران قرار می‌دهد (<https://earthengine.google.com>). داده‌های بازتحلیل، مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی هستند که با ترکیب مشاهدات ایستگاهی، داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های عددی پیش‌بینی هواشناسی، از طریق فرایند همگون‌سازی داده (Data Assimilation) تولید شده و یک‌سری زمانی پیوسته و سازگار از متغیرهای اقلیمی ارائه می‌دهند. در این پژوهش، داده‌های اقلیمی از پایگاه ERA5-Land شامل دما (حداکثر، حداقل و میانگین)، بارش، دمای نقطه شبنم و سرعت باد برای محدوده جغرافیایی حوزه ورامین از پلتفرم GEE فراخوانی شدند. برای این منظور، با بهره‌گیری از کدنویسی در محیط Code Editor، داده‌های ERA5-Land مربوط به بازه زمانی موردنظر برای موقعیت ایستگاه استخراج شد. پس از انجام عملیات فیلتر زمانی و مکانی، داده‌های روزانه به‌صورت فایل‌های خروجی CSV از GEE دانلود و برای انجام مراحل بعدی شامل صحت‌سنجی و محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی مورد استفاده قرار گرفتند. این روش به‌دلیل سرعت بالا، دسترسی آسان به داده‌های به‌روز و کاهش حجم عملیات پیش‌پردازش، ابزار کارآمدی برای استخراج داده‌های بازتحلیل در مطالعات اقلیمی محسوب می‌شود. جدول (۲) مشخصات اطلاعات پایگاه داده Era5-Land برای ایستگاه ورامین در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳ آورده شده است.

جدول ۲. مشخصات اطلاعات پایگاه داده Era5-Land برای ایستگاه ورامین در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۳

نام ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			متوسط دمای روزانه (°C)	متوسط سرعت باد روزانه (m/s)
	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (m)		
سینوپتیک ورامین	۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۷ ثانیه	۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه و ۳۸ ثانیه	۹۲۷	۱۹	۱.۶

۳.۲. شاخص‌های خشک‌سالی SPI و SPEI

شاخص‌های خشک‌سالی SPI و SPEI برای یک دوره سی و سه ساله از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳، با استفاده از داده‌های پایگاه جهانی داده ERA5-Lnad محاسبه شد و مورد بررسی قرار گرفت.

۳.۲.۱. شاخص بارندگی تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI)

شاخص بارندگی تبخیر و تعرق استاندارد شده (SPEI) در مقیاس‌های زمانی مختلف از معادله ساده بیلان آب یعنی تفاوت بین بارندگی و تبخیر و تعرق پتانسیل براساس رویکرد تورنتوایت استفاده می‌نماید. با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق پتانسیل (PET)^۴ تفاوت بین بارندگی (P) و تبخیر و تعرق پتانسیل برای ماه i طبق رابطه (۱) محاسبه می‌گردد (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱):

$$D_i = P_i - PET_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

مقادیر D در مقیاس‌های زمانی مختلف براساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$D_n^k = \sum_{n=0}^{k-1} P_{n-1} - PET_{n-1} \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، D تفاوت بین بارش و تبخیر و تعرق، k (ماه‌ها) مقیاس زمانی موردنظر و n ماه موردنظر در محاسبه می‌باشد. یک توزیع سه پارامتری برای محاسبه شاخص خشک‌سالی نیاز است تا بتواند مقادیر منفی در داده‌های D را پوشش دهد. نتایج انتخاب مناسب‌ترین تابع توزیع نشان داده است که تابع لجیستیک لگاریتمی برازش خوبی بر سری زمانی داده‌ها در مقیاس‌های زمانی مختلف دارد (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱). بدین ترتیب تابع تجمعی احتمال سری داده‌های D براساس تابع لجیستیک لگاریتمی مطابق رابطه (۳) می‌باشد:

$$F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma} \right) \right]^{-1} \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن، α پارامتر مقیاس و γ پارامتر اصلی برای مقادیر D در محدوده $Y > D < \infty$ است. بدین ترتیب پس از محاسبه تابع توزیع تجمعی و تبدیل آن به مقادیر نرمال مقادیر شاخص SPEI استخراج می گردد (جدول ۳) (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱).

۲.۳.۲. شاخص بارندگی استاندارد شده (SPI)

برای شاخص SPI از شناخته شده ترین شاخص هاست، ابتدا با برازش توزیع گاما بر داده های بارندگی ماهیانه یا مجموع بارندگی در هر بازه زمانی دلخواه، تابع احتمال تجمعی آن محاسبه شده سپس با انتقال احتمال تجمعی به دست آمده به توزیع تجمعی نرمال استاندارد شده، مقادیر SPI از رابطه (۴) محاسبه می گردد (McKee et al., 1993):

$$SPI = \frac{X_i - X_{ave}}{S_x} \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن، X_i بارندگی در هر ماه، X_{ave} میانگین بارندگی در مقیاس زمانی و S_x انحراف معیار بارندگی در مقیاس زمانی است.

جدول ۳. طبقه بندی شاخص های خشک سالی SPEI و SPI (حسینی و همکاران، ۱۴۰۱)

طبقات	توصیف وضعیت
بیش تر از ۲	رطوبت بسیار شدید
۱/۵ تا ۲	رطوبت شدید
۱ تا ۱/۵	رطوبت متوسط
۱ تا -۱	نرمال
-۱ تا -۱/۵	خشک سالی متوسط
-۱/۵ تا -۲	خشک سالی شدید
کم تر از -۲	خشک سالی بسیار شدید

۲.۴. شاخص های ارزیابی

برای ارزیابی دقت داده های پایگاه ERA5-Land در مقایسه با داده های مشاهده ای، از چندین شاخص آماری شامل ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، خطای میانگین (BIAS) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) می باشند. روابط ریاضی و توضیحات مربوط به هر یک از این شاخص ها به شرح زیر می باشد:

۱. ضریب تعیین (R^2)

ضریب تعیین میزان تطابق داده های تخمینی با داده های مشاهده ای را نشان می دهد. مقدار آن بین صفر تا ۱ متغیر است، به طوری که مقادیر نزدیک به ۱ نشان دهنده تطابق بالاتر هستند. در رابطه (۵) معادله ریاضیاتی این شاخص آورده شده است.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{avg})(P_i - P_{avg})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{avg})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - P_{avg})^2}} \right]^2 \quad \text{رابطه ۵}$$

۲. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)

RMSE میزان پراکندگی خطاها را نشان می دهد و مقادیر پایین تر و نزدیک تر به صفر نشان دهنده دقت بالاتر مدل است. در ادامه رابطه (۶) به منظور محاسبه این شاخص آورده شده است.

$$RMSE = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right)^{0.5} \quad \text{رابطه ۶}$$

۳. خطای میانگین (BIAS)

BIAS میانگین اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و پیش‌بینی‌شده را مشخص می‌کند و نشان می‌دهد که آیا مدل داده‌ها را بیش از حد یا کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده است. در رابطه (۷) معادله ریاضیاتی این شاخص آورده شده است.

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad \text{رابطه (۷)}$$

۴. ریشه میانگین مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE)

این شاخص RMSE را نسبت به میانگین داده‌های مشاهده‌ای مقیاس‌بندی می‌کند و معمولاً به صورت درصد و مطابق با رابطه (۸) بیان می‌شود.

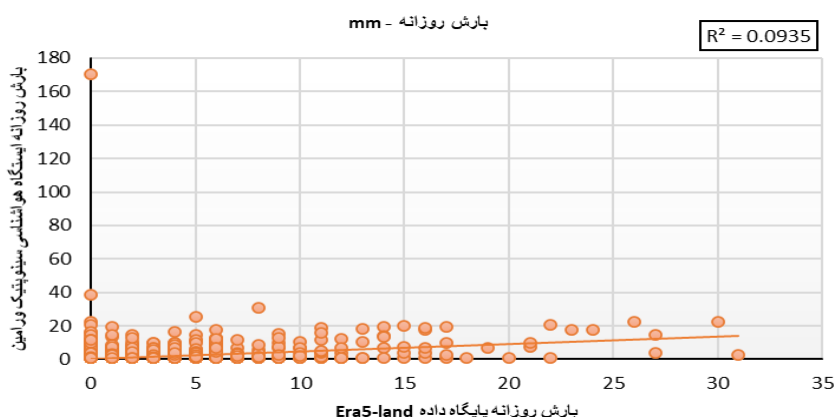
$$NRMSE = \frac{100 * \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right)^{0.5}}{O_{avg}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در تمامی روابط بالا، n تعداد داده‌ها، P_i و O_i مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، O_{avg} و P_{avg} میانگین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده می‌باشند. این معیارها به ارزیابی دقت داده‌های پایگاه ERA5-Land کمک کرده و میزان تطابق آن را با داده‌های مشاهده‌ای مشخص می‌کنند.

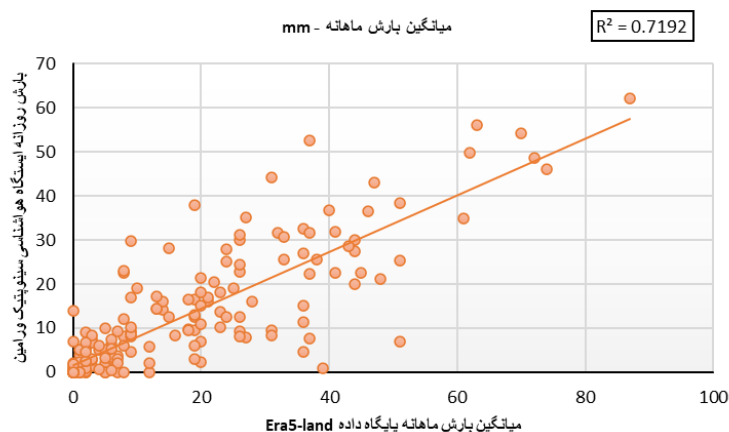
۳. یافته‌های پژوهش

۳.۱. بارش

شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب مقادیر بارش روزانه و ماهانه ایستگاه هواشناسی ورامین را در مقابل داده‌های استخراج‌شده از پایگاه داده ERA5-Land، در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۷ را نشان می‌دهند. اگرچه مطابق شکل (۲) پایگاه ERA5-Land قادر به برآورد میزان بارش روزانه نمی‌باشد ولی مطابق شکل (۳)، این پایگاه با R^2 بیش از ۷۰ درصد قادر به پیش‌بینی میزان بارش ماهانه در منطقه مطالعاتی می‌باشد. مطابق پارامترهای ارزیابی ارائه‌شده در جدول (۴)، می‌توان بیان نمود که از نظر آماری نتایج بارش ماهانه برآوردشده توسط پایگاه داده ERA5-Land به‌خوبی می‌تواند میزان بارش‌های رخ داده را برای این منطقه مطالعاتی برآورد نماید.



شکل ۲. مقایسه بارش روزانه پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپیتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۷



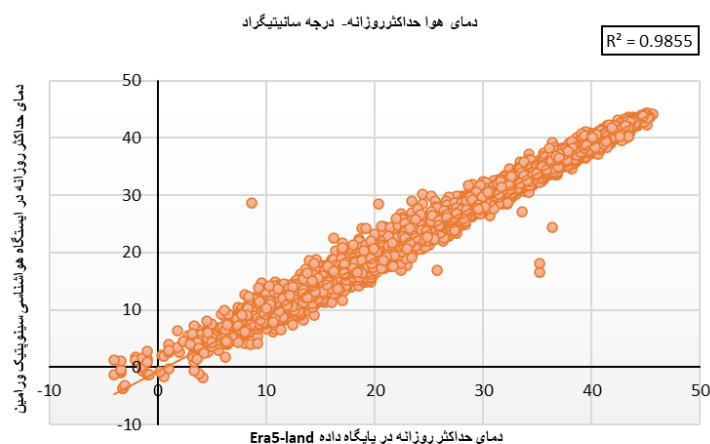
شکل ۳. مقایسه بارش ماهانه پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳

جدول ۴. پارامترهای ارزیابی بارش روزانه و ماهانه پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳

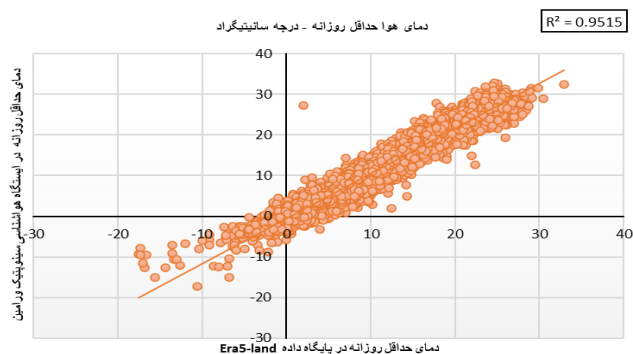
	پارامتر بارش			
	R ²	RMSE	NRMSE	BIAS
بارش روزانه	0.09	2.86	749.3	0.09
میانگین بارش ماهانه	0.72	0.33	93.6	0.12

۳.۲. دما

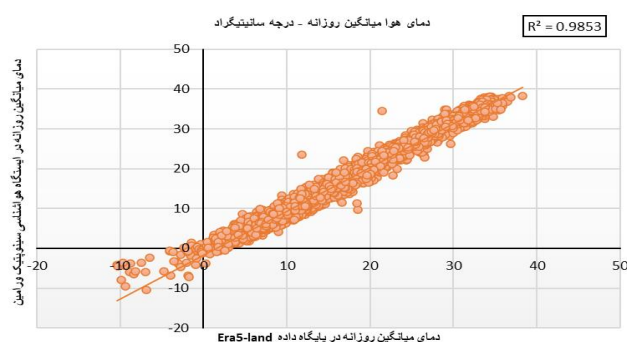
شکل‌های (۴)، (۵) و (۶) نمودارهای دمای هوای حداقل، حداکثر و میانگین ایستگاه هواشناسی ورامین و داده‌های روزانه به‌دست‌آمده از پایگاه داده ERA5-Land را در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳ نشان می‌دهند. همچنین جدول (۵) پارامترهای ارزیابی محاسبه‌شده را نشان می‌دهد. مطابق نتایج ارائه‌شده در این جدول می‌توان بیان نمود که پایگاه داده ERA5-Land قادر به برآورد دمای هوای حداقل، حداکثر و میانگین برای منطقه مطالعاتی در سطح قابل‌قبولی می‌باشد. این پایگاه داده با R^2 بیش از ۹۰ درصد در هر سه پارامتر دمای هوای حداقل، حداکثر و میانگین قادر به پیش‌بینی مقادیر در منطقه مطالعاتی می‌باشد.



شکل ۴. مقایسه حداکثر دمای هوا در پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳



شکل ۵. مقایسه دمای هوا در پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۷



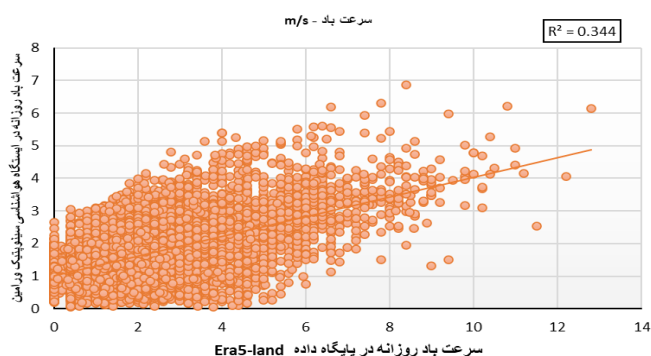
شکل ۶. مقایسه میانگین دمای هوا در پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۷

جدول ۵. پارامترهای ارزیابی دمای هوای حداکثر، حداقل و میانگین پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۷

	پارامتر دما			
	R ²	RMSE	NRMSE	BIAS
دمای روزانه حداقل	0.95	2.91	25.33	0.80
دمای روزانه حداکثر	0.98	2.65	10.13	-0.95
دمای روزانه میانگین	0.98	3.18	16.85	0.56

۳.۳. سرعت باد

با توجه به شکل (۷) و R^2 حدود ۳۴ درصد، همچنین مقادیر محاسبه شده برای سایر پارامترهای ارزیابی مطابق جدول (۶)، می‌توان گفت که پایگاه داده ERA5-Land قادر به برآورد میزان سرعت متوسط باد روزانه نیست.



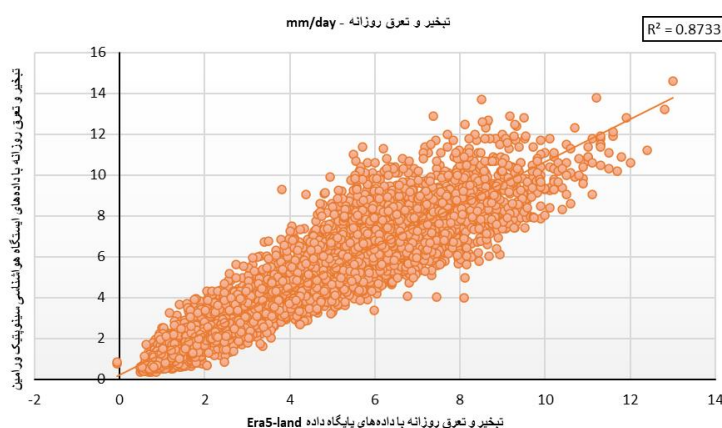
شکل ۷. مقایسه متوسط سرعت باد در پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۰۷

جدول ۶. پارامترهای ارزیابی سرعت متوسط باد در پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳

پارامتر سرعت باد				
	R ²	RMSE	NRMSE	BIAS
متوسط سرعت باد روزانه	0.34	1.59	71.33	-0.54

۴.۳. تبخیر و تعرق

شکل (۷) و جدول (۷) به ترتیب میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده با استفاده از رابطه پنمن مانیتث براساس داده‌های اقلیمی استخراج شده از پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه هواشناسی ورامین را در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳ نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود که استفاده از داده‌های پایگاه داده ERA5-Land به منظور برآورد میزان تبخیر و تعرق برای منطقه مطالعاتی در سطح بالایی مورد قبول می‌باشد. مطابق نتایج به دست آمده، تبخیر و تعرق به دست آمده از داده‌های این پایگاه داده با R^2 بیش از ۸۵ نشان می‌دهد که داده‌های این پایگاه داده قادر به برآورد میزان تبخیر و تعرق منطقه مورد مطالعه می‌باشد و با توجه به این که شاخص SPEI بر پایه بیلان آب اقلیمی (تفاضل بارش و تبخیر و تعرق پتانسیل) محاسبه می‌شود، لذا می‌توان از داده‌های این پایگاه داده برای برآورد میزان شاخص‌های خشک سالی استفاده نمود.



شکل ۷. مقایسه تبخیر و تعرق روزانه با داده‌های پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳

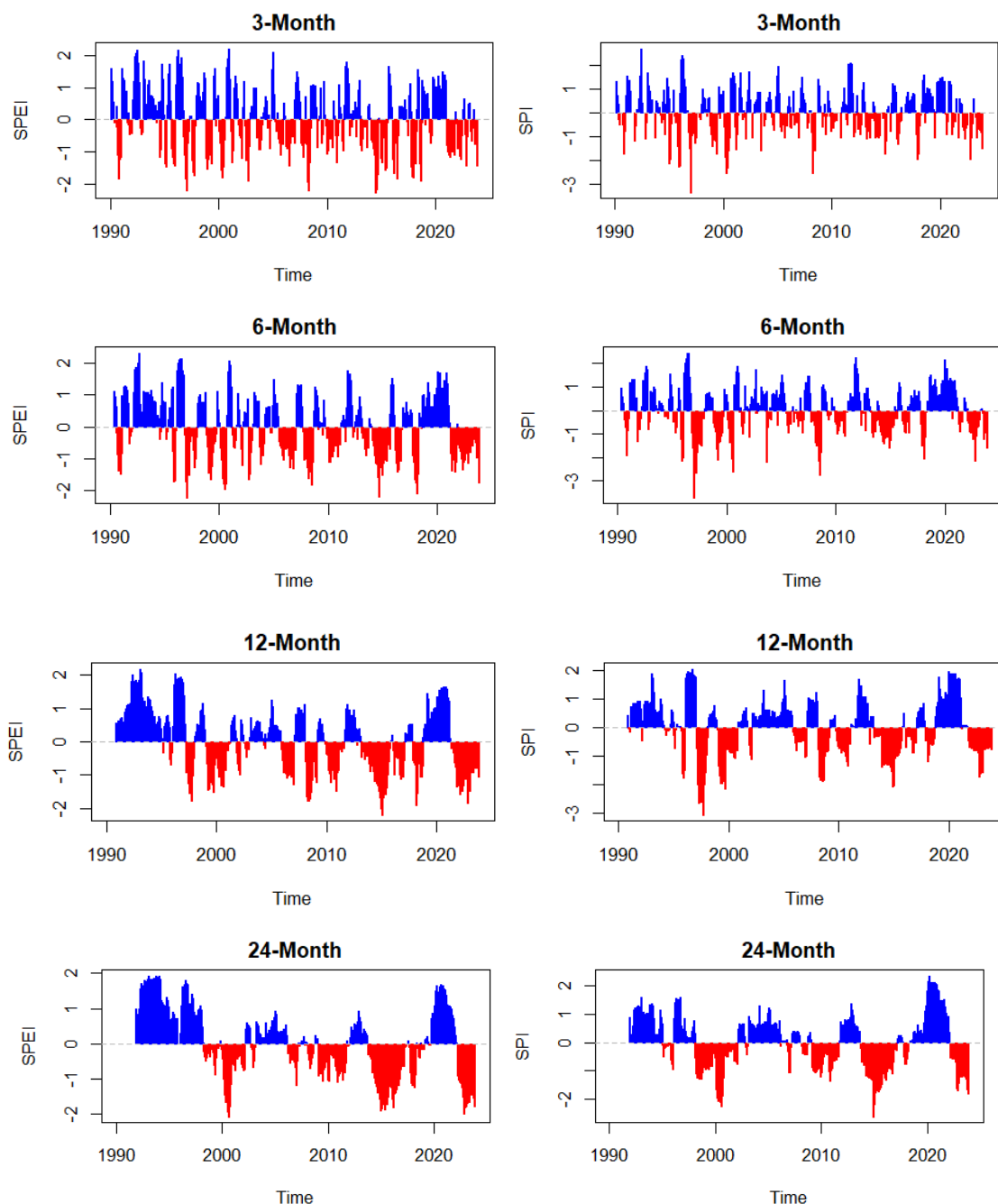
جدول ۷. پارامترهای ارزیابی تبخیر و تعرق روزانه با داده‌های پایگاه داده ERA5-Land و ایستگاه سینوپتیک ورامین در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۳

تبخیر و تعرق روزانه				
	R ²	RMSE	NRMSE	BIAS
تبخیر و تعرق روزانه	0.87	1.09	0.23	-0.4

۵.۳. پایش خشک سالی

در این مرحله شاخص‌های خشک سالی مذکور با استفاده از داده‌های به دست آمده از پایگاه داده ERA5-Land با مقیاس‌های زمانی مختلف سه، شش، نه، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ در منطقه ورامین محاسبه گردید.

شکل (۸) روند زمانی شاخص‌های SPI و SPEI را در مقیاس‌های سه، شش، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای دشت ورامین طی دوره ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۸. سری زمانی شاخص SPEI و SPI در مقیاس ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه در دشت ورامین در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۳

در مقیاس‌های زمانی شکل (۸) مشاهده می‌شود مقادیر شاخص SPEI از نظر تداوم زمانی و فراوانی وقوع و در مقیاس‌های زمانی به صورت یکنواخت، مقادیر منفی تری نسبت به SPI نشان می‌دهند. دلیل این تفاوت، افزایش تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) و تأثیر مستقیم گرمایش سه دهه اخیر بر بیلان رطوبتی منطقه است؛ عاملی که SPI (مبتنی بر بارش) قادر به نمایش آن نیست.

در مقیاس سه ماهه (شکل ۸)، نوسانات شدید و کوتاه مدت خشک سالی مشاهده می شود. در این مقیاس شاخص SPEI بین ۲/۲ تا ۲/۷- و شاخص SPI نیز در بازه ۲/۷ تا ۳/۳- نوسان کرده است. اگرچه در برخی رخدادهای حدی مقدار شاخص SPI به حداقل ۳/۳- رسیده است اما در مقیاس میانگین بلندمدت، SPEI فراوانی و تداوم مقادیر منفی بیش تری نسبت به SPI نشان می دهد. دوره های خشک سالی شدید ($SPEI < -1/5$) به طور عمده در سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳، ۲۰۱۷ تا ۲۰۱۹ و به صورت بسیار شدید ($SPEI > -2$) در سال های ۱۹۹۷، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۴ رخ داده است. در دوره مطالعاتی (۱۹۹۰-۲۰۲۳) بازه تغییرات شاخص SPEI به طور میانگین حدود ۱/۶- بوده است، درحالی که بازه تغییرات شاخص SPI به طور میانگین به طور عمده ۱/۲- بوده است. این اختلاف نشان می دهد که افزایش دما و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) اثر سریع تری بر رطوبت خاک کشاورزی داشته و شدت خشک سالی را بیش تر نشان می دهد.

در مقیاس شش ماهه، شدیدترین دوره ها شامل سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱، ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸، ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ و به ویژه ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ بوده است.

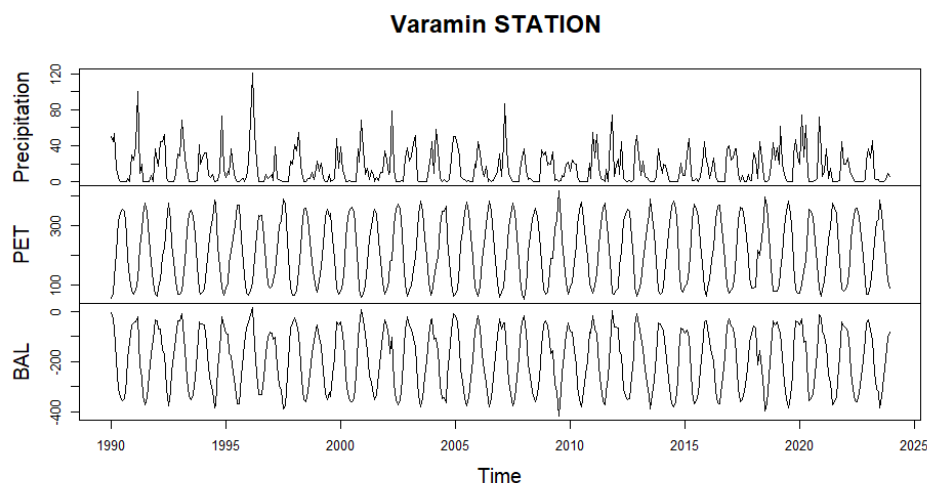
دوره سال های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۱ به ویژه در سال ۱۹۹۷ یکی از شدیدترین خشک سالی های ثبت شده، با SPI حدود ۲- تا ۳/۳- و SPEI ۱- تا ۲/۳- را نشان می دهد. این دوره بیش از ۱۸ الی ۲۴ ماه متوالی در محدوده خشک سالی شدید تا بسیار شدید قرار داشت.

دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸، خشک سالی متوسط تا شدید با حدود ۱۲ الی ۱۵ ماه تداوم SPEI در محدوده ۱- تا ۱/۵- را شامل می شود و دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ خشک سالی شدید تا بسیار شدید با مقادیر SPEI در بازه ۱/۵- تا ۲/۲- را نشان می دهد. دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۳ طولانی ترین و یکی از شدیدترین دوره های خشک سالی متوالی در کل سری زمانی بوده و شاخص ها برای بیش از ۳۰ الی ۳۶ ماه متوالی به طور عمده کمتر از ۱/۵- باقی ماندند.

در مقیاس سالانه (۱۲ ماهه) شکل (۸)، روند مشاهده شده نگران کننده تر است. از سال ۲۰۰۶ به بعد، شاخص SPEI تقریباً به طور مداوم مقادیر منفی داشته و در بسیاری از سال ها به مقادیر کمتر از ۱- رسیده است که بیانگر وقوع خشک سالی متوسط تا شدید در مقیاس سالانه است. در مقابل، شاخص SPI تنها در سال ۱۹۹۷ به مقادیر کمتر از ۲- رسیده است؛ این تفاوت سیستماتیک بین دو شاخص نشان می دهد که در صورت ارزیابی خشک سالی تنها براساس شاخص SPI، فقط سال ۱۹۹۷ در محدوده خشک سالی بسیار شدید و سایر سال ها در محدوده خشک سالی متوسط قرار می گیرند، درحالی که بررسی شاخص SPEI حاکی از آن است که شدت و تداوم خشک سالی در منطقه ورامین به طور عمده در محدوده خشک سالی شدید قرار دارد. این موضوع بیانگر آن است که شدت خشک سالی در منطقه ورامین براساس شاخص SPI دست کم گرفته می شود و اثرات واقعی خشک سالی به درستی منعکس نمی گردد.

در مقیاس ۲۴ ماهه، شکل (۸) مهم ترین پیام مدیریتی را در بر دارد. نتایج نشان می دهد که منطقه ورامین از حدود سال ۲۰۱۴ به بعد تا انتهای دوره مطالعه، وارد یک دوره خشک سالی متوسط تا شدید، طولانی و مداوم شده است. شاخص SPEI در مقیاس ۲۴ ماهه از اواسط سال ۲۰۱۴ تا انتهای دوره، در بیش از ۸۵ تا ۹۰ درصد این بازه زمانی مقادیری کمتر از ۱- را نشان می دهد.

شکل (۹) نشان می دهد که بارش در طول دوره مطالعه روند کاهشی ملایمی داشته است. میانگین بارش ماهانه در دهه ۱۹۹۰-۲۰۰۰ حدود ۴۰ میلی متر بوده، درحالی که در دهه ۲۰۱۵-۲۰۲۵ به حدود ۳۰ میلی متر کاهش یافته است و اوج های بارش شدید (بالای ۸۰-۱۲۰ میلی متر در ماه) بیش تر در دهه ۱۹۹۰ (مانند سال های ۱۹۹۱ و ۱۹۹۶) رخ داده و پس از سال ۲۰۱۰، چنین اوج های بزرگی نادر شده اند.



شکل ۹. سری زمانی ماهانه بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل و بیلان آب ایستگاه ورامین در بازه زمانی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۲۳

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش دقت پایگاه داده ERA5-Land در برآورد پارامترهای اقلیمی و برآورد تبخیر و تعرق منطقه ورامین با استفاده از داده‌های ایستگاه سینوپتیک منطقه ارزیابی شد. نتایج حاصل از مقایسه داده‌های این پایگاه با داده‌های ایستگاه مشاهده‌ای نشان داد که میزان تطابق بسته به نوع پارامتر اقلیمی متفاوت است. در جدول‌های (۴) تا (۷) مقایسه بین این پایگاه داده با داده‌های ایستگاه مشاهده‌ای با محاسبه شاخص‌های ارزیابی آورده شده است. در خصوص بارش روزانه، داده‌های ERA5-Land دقت قابل‌قبولی نداشتند و شاخص‌های آماری از جمله ضریب تعیین پایین و مقدار بالای RMSE و NRMSE گویای آن هستند (شکل ۲)، اما در سطح بارش ماهانه، عملکرد این پایگاه بهبود یافت و شاخص‌های همبستگی در سطح متوسطی قرار گرفتند (شکل ۳).

در مورد پارامتر دما، نتایج حاکی از دقت بالا و همبستگی قوی بین داده‌های ERA5-Land و داده‌های ایستگاهی بود. به‌ویژه در برآورد دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه، R^2 نزدیک به یک و مقادیر پایین RMSE مشاهده شد که نشان‌دهنده کارایی بالای این پایگاه در تخمین دما است. برخلاف دما، در مورد سرعت باد روزانه، دقت پایگاه ERA5-Land پایین بود و شاخص‌های آماری از ضعف در برآورد این پارامتر خبر می‌دادند.

در خصوص میزان تبخیر و تعرق با استفاده از روش پنمن مانیتث، نتایج حاصل از محاسبه این پارامتر با استفاده از داده‌های ERA5-Land و مقایسه آن با خروجی حاصل از داده‌های ایستگاه سینوپتیک ورامین نشان داد که این پایگاه داده عملکرد قابل‌قبولی در برآورد تبخیر و تعرق منطقه دارد و میزان همبستگی بین دو مجموعه داده بالا بوده و مقادیر RMSE و NRMSE در محدوده قابل‌قبول قرار گرفتند.

در مجموع می‌توان نتیجه گرفت که پایگاه داده ERA5-Land برای برآورد پارامترهایی مانند دما و بارش ماهانه در منطقه ورامین قابل‌اطمینان بوده و می‌تواند در مطالعات اقلیمی و کاربردهای مرتبط مانند کشاورزی و منابع آب مورد استفاده قرار گیرد. اما در مورد پارامترهایی مانند بارش روزانه و سرعت باد، لازم است با احتیاط بیشتری از این داده‌ها استفاده شود و در صورت امکان، از داده‌های ترکیبی یا تصحیح‌شده بهره گرفته شود. درخصوص تبخیر و تعرق در منطقه مطالعاتی می‌توان گفت که این پایگاه داده به‌عنوان یک منبع معتبر برای تخمین تبخیر و تعرق در مطالعات مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی آبیاری، به‌ویژه در شرایطی که داده‌های مشاهده‌ای در دسترس نبوده یا دارای نقصان زمانی باشند، است.

بررسی شاخص‌های خشک‌سالی نشان می‌دهد که منطقه ورامین از ابتدای دهه ۲۰۱۰ وارد یک رژیم خشک‌سالی جدید، پایدار و به مراتب شدیدتر شده است. مقایسه SPI و SPEI نشان می‌دهد که مقادیر SPEI در تمامی مقیاس‌های زمانی به طور متوسط حدود ۰/۶ تا ۱ واحد کم‌تر از SPI است. این اختلاف بیانگر نقش پررنگ‌تر افزایش دما و تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) در تشدید خشک‌سالی‌های منطقه است. نتایج مطالعه هم‌چنین نشان داد که بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۳ شدیدترین و طولانی‌ترین خشک‌سالی هیدرولوژیکی طی سه دهه اخیر در ورامین بوده است. بنابراین، استفاده از شاخص SPI به‌تنهایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ورامین، به‌ویژه در شرایط افزایش دما، منجر به کم‌برآوردی شدت واقعی خشک‌سالی می‌شود. در نتیجه، برای پایش دقیق وضعیت خشک‌سالی، ارزیابی تنش آبی و برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب، شاخص SPEI باید به‌عنوان شاخص اصلی و قابل اعتماد انتخاب و استفاده شود. نتایج به‌دست‌آمده در این مطالعه با یافته‌های سایر پژوهش‌ها نیز همخوانی دارد. براساس پژوهش انجام‌شده توسط حسینی و همکاران (۱۴۰۱) شاخص خشک‌سالی SPEI نسبت به SPI همبستگی بالاتر و خطای کم‌تری دارد. هم‌چنین در مطالعه مشابهی که توسط نیک‌بخت و همکاران (۱۴۰۰) در منطقه کرمانشاه انجام شده بود نیز شاخص SPEI نسبت به دیگر شاخص خشک‌سالی حساسیت بیش‌تری داشته و تغییرات را با دقت بالاتری نشان می‌دهد.

با وجود نتایج قابل‌توجه این مطالعه، برخی خلأهای پژوهشی همچنان باقی است. نخست، ارزیابی تنها یک ایستگاه سینوپتیک امکان تعمیم کامل نتایج به کل دشت ورامین را محدود می‌سازد. دوم، اثر تصحیحات آماری (Bias Correction) بر بهبود عملکرد داده‌های (ERA5-Land، به‌ویژه برای بارش روزانه و سرعت باد، موردبررسی قرار نگرفته است. هم‌چنین، عدم مقایسه ERA5-Land با سایر پایگاه‌های داده بازتحلیل یا سنجش از دور، امکان قضاوت نسبی در مورد برتری یا ضعف این پایگاه را محدود می‌کند.

بر این اساس، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی، ارزیابی دقت داده‌های ERA5-Land با استفاده از چندین ایستگاه زمینی، به‌کارگیری روش‌های تصحیح خطا، مقایسه با سایر پایگاه‌های داده جهانی و بررسی اثر تغییر اقلیم آینده بر تبخیر و تعرق و شاخص‌های خشک‌سالی انجام گیرد. چنین مطالعاتی می‌تواند به کاهش عدم قطعیت‌ها و افزایش قابلیت کاربرد داده‌های بازتحلیل در مدیریت پایدار منابع آب مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور کمک شایانی نماید.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Standardized Precipitation Index
2. Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index
3. European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
4. Potential evapotranspiration

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Arabi Yazdi, A., Sanaei Nejad, H., & Mofidi, A. (2019). Evaluation of ECMWF reanalysis gridded products in different climatic regions of Iran. *Journal of Climatological Research*, 10(38), 153-162. (In Persian).
- Daneshfaraz, R., Hasanniya, V., Mirzaei, R., & Bazayr, A. (2020). Experimental investigating effect of positive slope of the horizontal screen on hydraulic characteristics of vertical drop. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(10), 2499-2509. (In Persian).

- Erfani, A., Babaeian, I., & Entezari, A. (2020). Evaluation of ERA-Interim reanalysis data. *Journal of Climate Research*, 38(1398), 77-92.
- Gaona, J., Benito-Verdugo, P., Martínez-Fernández, J., González-Zamora, Á., Almendra-Martín, L., & Herrero-Jiménez, C. M. (2022). Soil moisture outweighs climatic factors in critical periods for rainfed cereal yields: An analysis in Spain. *Agriculture*, 12(4), 533.
- Haravi, H., & Zolfaghari, A. (2024). Application of machine learning methods for estimating evapotranspiration (Case study: Semnan Province). *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 55(5), 781-797. (In Persian).
- Hosseini, Z., Moghaddasi, M., & Paymazd, S. (2022). Accuracy assessment of ECMWF database in predicting climatic data and drought monitoring in the Ghareh-Chay watershed, Markazi Province. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 717-732. (In Persian).
- Hosseini Moqari, M., Araghi Nejad, S., & Ebrahimi, K. (2018). Introduction of global gridded precipitation databases. *Journal of Water and Sustainable Development*, 5(2), 63-76. (In Persian).
- Hosseini Moqari, M., Araghi Nejad, S., & Mofidi, A. (2016). Evaluation of global precipitation databases and their application in drought monitoring (Case study: Karkheh Basin). *Journal of Agricultural Meteorology*, 4(2), 14-26. (In Persian).
- Khaniani, A., & Mohammadi, A. (2022). Comparison of ERA5-Land reanalysis data with ground observations in Iran. *Iranian Journal of Geophysics*, 16(1), 195-212. (In Persian).
- Loheide, S. P., & Booth, E. G. (2011). Effects of changing channel morphology on vegetation, groundwater, and soil moisture regimes in groundwater-dependent ecosystems. *Geomorphology*, 126(3-4), 364-376.
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., & Martens, B. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349-4383.
- Navidi Nassaj, B., Zohrehabi, N., Nikbakht Shahbazi, A., & Fathian, H. (2021). Evaluation of global gridded precipitation datasets in drought monitoring (Case study: Greater Karun Basin). *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 10(3), 80-95. (In Persian).
- Nikbakht, J., & Hadley, F. (2021). Comparison of SPI, RDI, and SPEI drought indices under climate change conditions (Case study: Kermanshah Station). *Journal of Agricultural Meteorology*, 9(1), 14-25. (In Persian).
- Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J.A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., & Dubash, N.K. (2014). *Climate change 2014: Synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC.
- Salehi, H., Gharechelou, S., Golian, S., Ranjbari, M., & Ghazi, B. (2024). Evaluation of climatological precipitation datasets and their hydrological application in the Hablehroud watershed, Iran. *Water*, 16(7), 1028.
- Schmidhuber, J., & Tubiello, F. N. (2007). Global food security under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19703-19708.
- Singh, V. P., & Jain, S. K. (2010). Impact of global warming and climate change on social development. *Journal of Comparative Social Welfare*, 26(2-3), 239-260.
- Tang, Y., Zhong, S., Luo, L., Bian, X., Heilman, W. E., & Winkler, J. (2015). The potential impact of regional climate change on fire weather in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 105(1), 1-21.
- Woznicki, S. A., Nejadhashemi, A. P., Tang, Y., & Wang, L. (2016). Large-scale climate change vulnerability assessment of stream health. *Ecological Indicators*, 69, 578-594.