Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Spatio-temporal Study of Evapotranspiration in the Southern Part of the Aras River Basin

Mahnaz Saber [1] | Bromand Salahi [2]✉ | Abbas Mofidi [3]

1. Ph.D. Student of Climatology, Faculty of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. **Email: mahnaz.saber@uma.ac.ir**
2. Corresponding Author, Professor of Climatology, Faculty of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. ✉ **Email: salahi@uma.ac.ir**
3. Assistant professor of Climatology, Faculty of Geography, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. **Email: abbasmofidi@um.ac.ir**

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2021/03/12
Received in revised
2021/10/23
Accepted
2022/02/14
Published
2022/03/27
Published online
2023/10/01

Keywords:
Evapotranspiration,
FLDAS System,
Noah Model,
Aras River Basin.

ABSTRACT

In this study, spatio-temporal variations of evapotranspiration (ET) in the southern part of Aras River basin were investigated. For this purpose, FLDAS Noah gridded ET data with a horizontal resolution of 0.1*0.1 degrees for 38 years (1982-2019) were used. After validating the data, first the average annual ET values for the basin were determined. Then the monthly and seasonal distribution of ET was analyzed spatially. Next, the changes and anomalies of ET in the basin were evaluated yearly. Then, the spatial distribution of the occurrence of ET was investigated by considering the absolute thresholds of 50, 80, 100, and 120 mm for the basin. The results showed that annual ET is higher in the east of the basin than in the west. On a seasonal scale, spring and summer have the highest ET values. On a monthly scale, May, June, April and March have the highest ET values. Autumn and winter months have the lowest average values of ET. During the study period, the Aras River basin has experienced three specific periods of ET changes. In the eastern and western parts of the basin, despite similar behavior in the second and third periods, a prominent difference was observed in the first period. The findings also indicate the existence of a positive anomaly after 2002 in the entire basin, the highest values of which occurred in the west of the basin in 2018. Examining the frequency of occurrence of absolute thresholds of ET on the basin, shows the high frequency of occurrence of ET in all thresholds in the east of the basin. A 4-decade study of ET values in the Aras River basin has shown an increase in ET values in the last two decades in the entire basin, which can consider it to be a result of global warming.

Cite this article: Saber, Mahnaz, Salahi, Bromand., & Mofidi, Abbas. (2024). Spatio-temporal Study of Evapotranspiration in the Southern Part of the Aras River Basin. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 74 (24), 1-23. DOI: http//doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.17

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University.
DOI: http//doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.17

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Evapo-transpiration (ET) is one of the main components of water balance. The study of this parameter is very critical because of its role in the water balance and consequently in the management of water resources and related issues. Many experimental methods and algorithms have been presented to estimate this parameter. In this study, temporal and spatial variations of ET in the southern part of the Aras River basin have been investigated. In addition to having the longest river in Iran, this basin also forms the border of the countries of the Caucasus region with Iran, and its geopolitical importance has increased the importance of the water issue. So far, there has not been a comprehensive study that paid attention to the temporal-spatial features of ET in the Aras River basin on a climatic scale. This research tries to provide the characteristics of ET in the Aras River basin by using networked data with high horizontal resolution.

Methods and Materials

To carry out this study, using the gridded ET data of FLDAS Noah model (with horizontal resolution of 0.1*0.1 degrees) and extracted from satellite images for 38 years period (1982-2019), the temporal-spatial ET changes of the Aras River basin was evaluated. At first, by functions such as Root Mean Squared Error (RMSE), Normalized Root Mean Squared Error (NRMSE), Mean Absolute Error (MAE) and Mean Absolute Percentage Error (MAPE), the model data was validated by station data. Then, the annual average values of ET for the basin were determined and the monthly and seasonal distribution of ET was spatially analyzed. Then, the year-to-year ET changes and anomalies of the studied basin were calculated based on the long-term climatic average of ET (1982-2016). Also, the spatial distribution of ET frequency with absolute thresholds of 50, 80, 100 and 120 mm was investigated for the studied basin.

Results and Discussion

The results showed that in the Aras River basin, the latitude of 38◦ 45' had the highest amount of ET. On an annual scale, ET is higher in the east of the Aras River basin than in the west. On a seasonal scale, spring with 270 mm and summer with 259 mm have the highest amount of ET, respectively. On a monthly scale, May, June, April and March had the highest amount of ET respectively. Autumn and winter had the lowest average values of ET. On all maps, highlands and southern slopes had higher ET values than lowlands. During the study period, the Aras River basin experienced three specific periods of ET changes. In the eastern and western parts of the basin, despite similar behavior in the second and third periods, a prominent difference was seen in the first period. Year-by-year ET anomaly maps indicate the presence of positive anomalies after 2002 in the entire basin, with the highest values of positive anomalies occurring in 2018 in the west of the basin at the rate of 2.4. Spatial investigation of the frequency of occurrence of absolute thresholds of ET on the Aras River basin also shows the high frequency of ET in all defined thresholds in the east of the basin.

Conclusion

One of the reasons for ET abundances of more than 50 to 120 mm in the east of the Aras River basin can be considered the proximity of this part of the basin to the Caspian Sea. The monthly ET regime of the Aras River basin showed that May and June have the highest ET values. This result showed the power of FLDAS model outputs in revealing the effect of local heat forcing and humidity of cities on ET values. The reason for the formation of urban

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

heat islands can be attributed to the effect of cities on climatic features on a local scale, which has caused a change in the natural regime of the basin. In the Aras River basin, the increase in temperature and the change in the local balance of radiation have changed the amounts of snow and evaporation on a local scale in winter. A 4-decade study of ET values in the Aras River basin has shown an increase in ET values in the last two decades, which can be considered as a result of global warming.

Keywords: Evapotranspiration, FLDAS System, Noah Model, Aras River Basin.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۲۲۲۸-۷۷۳۶ شاپا الکترونیکی: ۲۵۸۸-۵۱۳۸
https://jgs.khu.ac.ir/

بررسی زمانی-مکانی تبخیر و تعرق در بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس

مهناز صابر[۱]، برومند صلاحی[۲]✉، عباس مفیدی[۳]

۱. دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رایانامه: mahnaz.saber@uma.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، استاد گروه جغرافیای طبیعی دانشکده علوم اجتماعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران.
رایانامه: salahi@uma.ac.ir

۳. استادیار اقلیم شناسی، گروه آموزشی جغرافیا، دانشکده علوم انسانی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
رایانامه: abbasmofidi@um.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۳۹۹/۱۲/۲۲
تاریخ بازنگری:
۱۴۰۰/۰۸/۰۱
تاریخ پذیرش:
۱۴۰۰/۱۱/۲۵
تاریخ انتشار:
۱۴۰۱/۰۱/۰۷
تاریخ انتشارآنلاین:
۱۴۰۲/۸/۰۱

کلیدواژه‌ها:
تبخیر و تعرق،
سامانه FLDAS،
مدل Noah،
حوضه آبریز رودخانه ارس.

چکیده

در این مطالعه، تغییرات زمانی- مکانی تبخیر و تعرق (*ET*) در بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس موردبررسی قرار گرفت. برای این منظور، از داده‌های شبکه‌بندی شده *ET* مدل *FLDAS Noah* با تفکیک افقی ۰/۱*۰/۱ درجه برای یک دوره ۳۸ ساله (۲۰۱۹-۱۹۸۲) استفاده شد. پس از اعتبارسنجی داده‌ها، ابتدا مقادیر متوسط سالانه *ET* برای حوضه تعیین گردید. سپس توزیع ماهانه و فصلی *ET* به شکل فضایی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در ادامه تغییرات و ناهنجاری‌های سال‌به‌سال *ET* در حوضه ارزیابی شد. سپس پراکندگی فضایی فراوانی وقوع *ET* با لحاظ نمودن آستانه‌های مطلق ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌متر برای حوضه بررسی شد. نتایج نشان داد که *ET* سالانه در شرق حوضه بالاتر از غرب حوضه می‌باشد. در مقیاس فصلی، فصل بهار و تابستان بیش‌ترین مقادیر *ET* را به خود اختصاص داده‌اند. در مقیاس ماهانه، می، ژوئن، آوریل و مارس دارای بیش‌ترین مقادیر *ET* بوده‌اند. ماه‌های پاییز و زمستان پایین‌ترین مقادیر متوسط *ET* را به خود اختصاص داده‌اند. حوضه آبریز رودخانه ارس در طول دوره مطالعه، سه دوره مشخص از تغییرات *ET* را تجربه نموده است. در بخش‌های شرقی و غربی حوضه، علیرغم رفتار مشابه در دوره‌های دوم و سوم، تفاوت برجسته‌ای در دوره اول ملاحظه گردید. یافته‌ها همچنین حاکی از وجود ناهنجاری مثبت بعد از سال ۲۰۰۲ در کل حوضه است که بالاترین مقادیر آن در سال ۲۰۱۸ در غرب حوضه به وقوع پیوسته است. بررسی فراوانی وقوع آستانه‌های مطلق *ET* بر روی حوضه، نشان‌دهنده دفعات بالای وقوع *ET* در تمامی آستانه‌ها در شرق حوضه می‌باشد. بررسی ۴ دهه‌ای مقادیر *ET* در حوضه آبریز رودخانه ارس، بیانگر افزایش مقادیر *ET* در دو دهه اخیر در کل حوضه بوده که می‌توان آن را ناشی از وقوع گرمایش جهانی دانست.

استناد: صابر، مهناز؛ صلاحی، برومند؛ و مفیدی، عباس (۱۴۰۳). بررسی زمانی- مکانی تبخیر و تعرق در بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۷۴ (۲۴)، ۲۳-۱. http//doi.org/ 10.61186/jgs.24.74.17

CC BY NC
© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

مقدمه

ارزش و اهمیت منابع آبی بر کسی پوشیده نیست به‌ویژه این‌که بحران‌های آبی و بروز تنش‌های آتی بین کشورها به موضوع و محوریت آب نسبت داده می‌شود. تأمین منافع درازمدت و حصول اطمینان از تأمین آب برای بخش‌های مختلف، ایجاب می‌کند به منابع آب کشورها، بیلان آبی و مطالعه تغییرات مؤلفه‌های آن توجه شود، به‌گونه‌ای که برنامه‌ریزی‌ها متناسب با تغییرات احتمالی صورت گرفته در مؤلفه‌های بیلان آب باشد. تبخیر و تعرق (ازاین‌پس به‌اختصار ET) یکی از مؤلفه‌های دخیل در بیلان آب است که از عوامل محیطی و گیاهی تأثیر می‌پذیرد. بین ET و نیاز آبی گیاهان رابطه مستقیمی وجود دارد، به‌طوری‌که با افزایش آن، نیاز آبی گیاهان نیز بالا می‌رود. این پارامتر از جمله در انتخاب نوع سامانه‌های آبیاری و نوع کشت و محصول مناسب نیز مؤثر است.

تبخیر-تعرق از دو مؤلفه اصلی تبخیر و تعرق تشکیل می‌گردد (چِین[1]، ۱۹۹۲؛ شاو[2]، ۱۹۹۴). فرآیند تبخیر شامل از دسترس خارج شدن مستقیم آب از سطح آب‌های آزاد (اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها) و از سطح منافذ خاک به جو است (مصطفی پیشوا[3]، ۲۰۱۷). فرآیند تعرق نیز به بازگشت آب جذب شده توسط ریشه‌های گیاه از طریق روزنه‌های آن به جو اطلاق می‌شود (لوپز-اورا[4] و همکاران، ۲۰۰۶). کمّی‌سازی تبخیر-تعرق به‌عنوان یکی از اجزای مهم و اصلی بیلان و چرخه آب (جرالد[5] و همکاران، ۲۰۱۲؛ استن[6] و همکاران، ۲۰۱۶؛ النمر[7] و همکاران، ۲۰۱۹) و چرخه‌ی جهانی آب (زونگهان[8] و همکاران، ۲۰۱۹) به‌منظور مدیریت منابع آبی ضروری است (زو[9] و همکاران، ۲۰۱۳؛ پیلگرام[10] و همکاران، ۱۹۸۸). ET همچنین نقش مهمی در بیلان آب در بلندمدت دارد (هریسون[11]، ۲۰۱۴). تخمین و برآورد این متغیر یکی از موضوعاتی است که از جانب محققان زیادی در ایران و جهان به روش‌های مختلفی به آن پرداخته شده است.

به واسطه تسلط بارش‌های کم، محدود و فصلی و همچنین چیرگی اقلیم خشک بر بخش‌های پهناوری از ایران‌زمین، از دیرباز ET یکی از پارامترهای بسیار مهم در تحلیل فضایی شرایط حاکم بر این سرزمین به شمار آمده و در نزد متخصصان علوم طبیعی، به‌ویژه متخصصان علوم جو، هواشناسی کشاورزی، هیدرولوژی، منابع طبیعی، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب از ارزش و اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است. ارزش و اعتبار این پدیده سبب گردیده تا در طی چند دهه گذشته مطالعات بی‌شماری در راستای شناخت ویژگی‌های تبخیر و تعرق کشور در مناطق اقلیمی مختلف آن به انجام رسد (به‌عنوان‌مثال: فرهودی و شمسی‌پور: ۱۳۷۹؛ نیکبخت و میرلطیفی: ۱۳۸۱؛ علی‌زاده و همکاران: ۱۳۸۳؛ فولادمند: ۱۳۸۶؛ پیرمرادیان و اوبل‌پور: ۱۳۸۹؛ دین‌پژوه و همکاران: ۱۳۹۷). بااین‌وجود، هنوز اطلاعات ما در خصوص ET کشور و حوضه‌های آن کافی نیست و پژوهش‌های دقیق‌تری را می‌طلبد. به‌خصوص این‌که بررسی ET به‌صورت فضایی آن‌هم در مقیاس اقلیمی کمتر موردتوجه قرار گرفته است. به‌عنوان‌مثال پژوهشگرانی چون مباشری و خاوریان (۱۳۸۳) روش‌های مختلف برآورد ET مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای را بررسی نموده و مشکلات اصلی الگوریتم‌های موجود در به‌کارگیری آن‌ها برای ایران را تبیین نمودند. جهانبخش و همکاران (۱۳۹۱)؛ سلطانی و همکاران (۱۳۹۱)؛ جوشنی و همکاران (۱۳۹۳)، اسدی و کرمی (۱۳۹۹) این متغیر را با استفاده از فرمول‌های تجربی مختلف برای مناطق مختلف ایران، محاسبه و ارزیابی نموده‌اند و پژوهشگرانی نظیر زارع ابیانه و همکاران (۱۳۸۹) و ولیزاده کامران (۱۳۹۳) به پهنه‌بندی نیز اقدام نموده‌اند. تعداد دیگری از محققان نیز از طریق الگوریتم‌های ارائه‌شده به برآورد آن در مناطق مختلف کشور همت گماشتند (برای نمونه: پورمحمدی و همکاران: ۱۳۸۹؛

1. Chahine
2. Shaw
3. Peshawa Mustafa
4. Lopez-Urrea
5. Elnmer
6. Stan
7. Garald
8. Zonghan
9. Zhao
10. Pilgram
11. Harrison

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

کریمی و همکاران: ۱۳۹۱؛ سیمایی و همکاران: ۱۳۹۲؛ قربانی و همکاران: ۱۳۹۴؛ نوری و فرامرزی: ۱۳۹۶؛ معروفی و همکاران: ۱۳۹۶). برخی نیز روند ET را در سطح کل کشور و یا در مقیاس منطقه‌ای و یا حوضه‌ای مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در ادامه به مواردی از مطالعات اخیر اشاره خواهد شد. دهقان و همکاران (۱۳۸۸) روند زمانی ET ایران را در بلندمدت بررسی نموده و نتیجه گرفتند در گذر از ماه‌های سرد به ماه‌های گرم، ET روند افزایشی بیش‌تری را نشان می‌دهد. نتایج پژوهش معصوم‌پور سماکوش و همکاران (۱۳۹۳) نیز نشان از افزایشی بودن روند بلندمدت تبخیر-تعرق مرجع در ایران‌زمین دارد. نامبردگان متوسط تغییرپذیری مکانی این متغیر را در مقیاس سالانه و فصلی به‌صورت دهه‌ای ترسیم نمودند. قلیزاده اولپاوت و امینی‌نیا (۱۳۹۳) تغییرات زمانی ET پتانسیل شهر تبریز را طی یک دوره ۵۸ ساله (۲۰۰۸-۱۹۵۱)، پس از تشخیص بهترین روش برآورد آن، ارزیابی نمودند که نتایج نشانگر حداکثر افزایش میزان ET در اواسط بهار و پاییز و روند افزایشی معنی‌دار آن برای ماه‌های می و اکتبر بوده است. اسمعیل‌پور و دین‌پژوه (۱۳۹۱) با بررسی ET پتانسیل حوضه جنوبی رود ارس دریافتند روند آن در ایستگاه‌ها و در بازه‌های زمانی مختلف، متفاوت بوده، به‌گونه‌ای که شدیدترین روند افزایشی معنی‌دار به خوی تعلق داشته، اما روند افزایشی اهر و ماکو معنی‌دار نبوده، از طرفی روند آن در سایر ایستگاه‌ها کاهشی و غیرمعنی‌دار بوده است. احمدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی نشان دادند روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع شمال شرق ایران از شمال به جنوب افزایشی است.

در این پژوهش، حوضه ارس به‌عنوان محدوده موردمطالعه انتخاب گردید. این حوضه علاوه بر داشتن طولانی‌ترین رود ایران، مرز کشورهای منطقه قفقاز با ایران را تشکیل می‌دهد. در کنار اهمیت ژئوپلیتیکی، خاک حاصلخیز آن، قابلیت‌ها و ظرفیت‌های بالایی را به‌ویژه در زمینه آگروتوریسم، تولید و صادرات محصولات کشاورزی، دامی، آبزیان برای منطقه در پی داشته است. در مناطق دارای بارش ناکافی اما خاک حاصلخیز، مقدار آب در دسترس به‌عنوان عامل اصلی محدودکننده برای جوامع کشاورزی و اقتصاد متکی بر آن عمل می‌کند. در این میان آگاهی یافتن از میزان و تغییرات مؤلفه‌های مختلف بیلان آب به‌ویژه ET که برآورد آن نسبت به مؤلفه‌های بارش و نفوذ، دشوارتر می‌باشد، به‌منظور مدیریت بهینه منابع آبی حائز اهمیت است. لذا با توجه به نقش ET در بیلان آب، اهمیت آن در مدیریت آب و برنامه‌ریزی‌های متناسب با نیازهای موجود، موقعیت ژئوپلیتیکی حوضه ارس و کارکردهای مختلف آن، بررسی ET حوضه رود ارس موضوع و هدف اصلی پژوهش حاضر محسوب می‌گردد. ازآنجایی‌که تاکنون مطالعه جامعی که ویژگی‌های زمانی-مکانی تبخیر و تعرق در حوضه رود ارس را در یک مقیاس اقلیمی در کانون توجه خود قرار داده باشد، به انجام نرسیده است، این تحقیق سعی دارد ضمن بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی شده با قدرت تفکیک افقی بالا، تصویری اقلیمی و در عین فضایی از ویژگی‌های تبخیر و تعرق در حوضه رود ارس ارائه نماید. این پژوهش در تفاوت با پژوهش‌های گذشته، در پی ارائه جزئیات مهم و متفاوت از ویژگی‌های ET حوضه و پایش سال‌به‌سال نابهنجاری‌ها، روند، فراوانی و توزیع ماهانه، فصلی و سالانه آن در حوضه ارس با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی شده با قدرت تفکیک بالا می‌باشد.

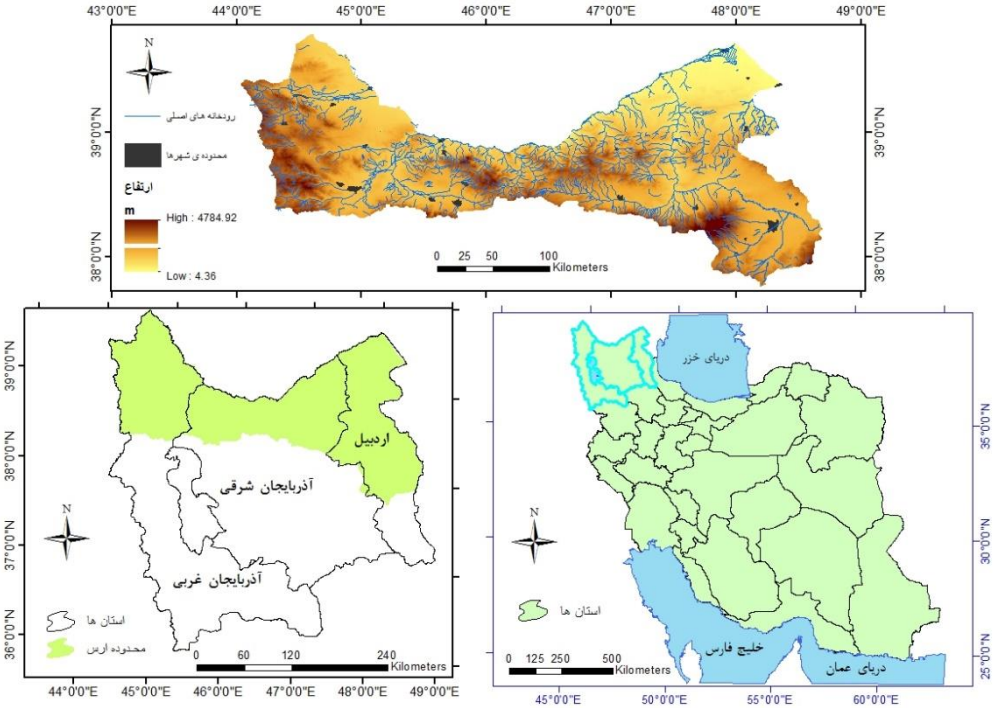
روش‌شناسی

موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه

حوضه ارس بخشی از زیرحوضه آبریز غرب دریای خزر است که مرز سیاسی بین کشورهای آذربایجان، ایران، ترکیه، ارمنستان و گرجستان را تشکیل می‌دهد. بخش جنوبی این حوضه در شمال غرب ایران در محور ارتباطی خاور دور با آسیای میانه در منطقه‌ای با موقعیت خاص و حساس واقع است که قسمت‌های شمالی استان‌های اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را در بر می‌گیرد. حوضه‌ی آبریز ارس در ایران بین مختصات جغرافیایی ′۲ °۴۴ تا ′۴۱ °۴۸ طول شرقی و ′۴۷ °۳۷ تا ′۴۵ °۳۹ عرض شمالی واقع گردیده است. مرتفع‌ترین نقطه در این حوضه، قله‌ی سبلان با ۴۸۱۱ متر از سطح دریا و پست‌ترین آن با ارتفاع ۲۰ متر در محل خروجی رودخانه ارس واقع در مرز ایران و جمهوری آذربایجان قرار دارد. مساحت این حوضه در خاک ایران بالغبر ۳۹۴۷۸ کیلومترمربع بوده و حدود ۸۱/۵ درصد آن در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای واقع شده است. ۱۸/۵ درصد بقیه را دشت‌هایی تشکیل داده‌اند که در همه قسمت‌های حوضه پراکنده‌اند (کیانی سفیدان جدید، ۱۳۸۴). در

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

شکل (۱)، موقعیت جغرافیایی حوضه ارس در ایران و ارتفاع و رودخانه‌های اصلی آن نشان داده شده است. ۴۵ رود در این حوضه جریان دارد. رود ارس به‌عنوان شاهرگ حوضه، از کوهستان شمال ترکیه نشئت می‌گیرد. این رودخانه به‌عنوان مهم‌ترین رود حوضه ارس، منبع اصلی آب شیرین جمهوری آذربایجان تلقی می‌شود (کامپانا۱۲ و همکاران، ۲۰۱۲). مصارف بقیه کشورها از این رود شامل بخش‌های کشاورزی، صنعتی و مصارف خانگی است.



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی حوضه موردمطالعه.

روش انجام پژوهش

الف) داده‌ها: داده‌های مورداستفاده در این پژوهش شامل دو دسته است: ۱) داده تبخیر ایستگاه‌ها (ایستگاه‌های سینوپتیک اردبیل، پارس‌آباد، جلفا، خوی، ماکو، اهر، مشکین‌شهر، گرمی و بیله‌سوار نمایش داده شده در شکل ۲) برای اعتبارسنجی و ۲) داده‌های شبکه‌بندی شده ET مجموعه داده‌های مدل اقلیمی FLDAS13/Noah1401. محدودیت داده‌های نقطه‌ای ایستگاهی در تعمیم داده‌ها به یک پهنه و توأم بودن این کار با مقادیری از خطا به دلیل لحاظ نشدن شرایط محلی در درون‌یابی‌ها، کوتاه بودن سری زمانی، نقص داده‌های ایستگاهی در موارد متعدد، در کنار مزیت داده‌های شبکه‌بندی شده از جمله صرفه‌جویی در وقت و هزینه از جمله دلایلی است که استفاده از داده‌های شبکه‌بندی شده را به‌عنوان یک جایگزین ارزشمند قابل‌قبول می‌سازد. در این مطالعه، از داده‌های ET مجموعه داده‌های مدل اقلیمی FLDAS15/Noah1601 با قدرت تفکیک افقی بالا برای ارزیابی فضایی و همچنین بررسی تغییرات زمانی ET بخش جنوبی حوضه آبریز رودخانه ارس استفاده شد. داده‌های یادشده که از تولیدات اخیر سازمان ناسا محسوب می‌گردد با تفکیک افقی بالا (۰.۱ * ۰.۱) و در یک مقیاس جهانی، برای یک دوره زمانی طولانی تهیه گردیده است. این داده‌ها که برای انجام مطالعات اقلیمی از مطلوبیت کافی

12. Campana
13. Famine Early Warning System Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System (LDAS) = FLDAS
14. National Centers for Environmental Prediction/Oregon State University/ Air Force/Hydrologic Research Lab (Noah)
15. Famine Early Warning System Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System (LDAS) = FLDAS
16. National Centers for Environmental Prediction/Oregon State University/ Air Force/Hydrologic Research Lab (Noah)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

برخوردار می‌باشند، از پایگاه داده ناسا با نشانی http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni به‌صورت رایگان قابل دریافت است. واحد داده‌های ET این مدل بر حسب kg m-2 s-1 است.

ب) معرفی اجمالی FLDAS: FLDAS نمونه‌ای از سامانه اطلاعات زمین (LIS17) ناسا است. این سامانه هیدرولوژیکی در پاسخ به نیازهای برنامه امنیت غذایی و آب، طراحی و توسعه یافته است۱۸؛ بنابراین، هدف اولیه از تولید این مجموعه داده، پایش امنیت غذایی و مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آن در کشورهای درحال‌توسعه با به‌کارگیری داده‌های ترکیبی بوده است. پروژه‌های تحقیقاتی متعددی با محوریت امنیت غذا و خشک‌سالی با بهره‌گیری از پارامترهای متنوع این مجموعه داده برای مناطق مختلف جهان به اجرا در آمده است (پروز۱۹ و همکاران، ۲۰۱۶؛ پولیسیلی۲۰ و همکاران، ۲۰۱۸؛ فانک۲۱ و همکاران، ۲۰۱۹؛ پولیسیلی، ۲۰۱۹؛ هال۲۲ و همکاران، ۲۰۲۰). سامانه ایجاد شده با بهره‌گیری از یک شبکه هشدار سریع قحطی (FEWS NET23) و با کاربست مدل‌های سطح زمین، مجموعه‌ای از متغیرها، شامل رطوبت خاک، ET و طیف وسیعی از داده‌های سطحی را تولید می‌نماید. همچنین نابهنجاری‌های هر متغیر را بر اساس میانگین اقلیمی آن در دوره ۳۵ ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۲) و از طریق مقایسه آن با میانگین بلندمدت محاسبه می‌نماید (رویی و مک نالی۲۴، ۲۰۱۷). سامانه یادشده در مرحله پیش‌پردازش، از داده‌های MERRA-225 و بارش باند مادون‌قرمز گروه مخاطرات اقلیمی (CHIRPS) با گام زمانی ۶ ساعته به‌عنوان شرایط مرزی ثانویه استفاده نموده است (فانک و همکاران، ۲۰۱۵). این داده‌ها با استفاده از مجموعه ابزار داده سطح زمین (LDT26) ناسا، ریزمقیاس‌نمایی گردیده است. سامانه FLDAS علاوه بر بارش، امکان پایش متغیرهای هیدرولوژیکی مهمی چون رطوبت خاک، برف و تنش آبی را میسر می‌سازد (فانک و همکاران، ۲۰۱۹). خروجی‌های قابل دریافت این مجموعه داده، شامل: تبخیر- تعرق، شار تابش موج‌بلند ورودی، شار تابش خالص موج‌بلند، فشار سطحی، رطوبت ویژه، شار حرارتی خاک، شار خالص حرارت محسوس و گرمای نهان، رواناب سطحی، رواناب جریان پایه-زیرزمینی، دمای تابشی سطح، بارش، کسری پوشش برف، عمق برف، میزان بارش برف، رطوبت و دمای خاک در اعماق مختلف، معادل آب برف، تابش موج‌کوتاه ورودی سطح، شار تابش خالص موج‌کوتاه، دمای هوای نزدیک سطح، سرعت باد نزدیک سطح است. تنوع داده‌های آن، امکان به‌کارگیری مدل را به‌ویژه برای زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط با آب از جمله علوم هیدرومتئولوژیکی و مطالعات هیدروکلیمایی که نیازمند ترکیب چندین داده با هم هستند، به سهولت فراهم می‌کند.

ج) معرفی مدل Noah: مدل Noah یک مدل سطح زمین مبتنی بر توازن انرژی و آب در ۴ لایه خاک است (اک۲۷ و همکاران، ۲۰۰۳؛ مک نالی و همکاران، ۲۰۱۷a). این مدل به‌طور وسیعی توسط مراکز تحقیقاتی ایالات‌متحده امریکا به کار گرفته شده است. این مجموعه داده می‌تواند در رابطه با تخمین‌های سنجش‌ازدوری، به‌عنوان‌مثال، تبخیر و تعرق استفاده شود (مک نالی و همکاران، ۲۰۱۷b). FLDAS، مدل سطح زمین «Noah» را به کار می‌برد. ET در این مدل، شامل تبخیر برگابی تاج پوشش، تعرق از تاج پوشش گیاهان و تبخیر از خاک برهنه می‌باشد و مقادیر کل ET حاصل جمع این سه مؤلفه است که از طریق نسبت پوشش سطح زمین وزن داده می‌شوند و برای محاسبه ET از معادله پنمن استفاده می‌کند، اما برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) پیش‌فرض‌هایی را در نظر می‌گیرد. تولید داده‌های ET از اول ژانویه ۱۹۸۲ با استفاده از رطوبت خاک و سایر گزاره‌ها از مدل اقلیمی FLDAS/Noah آغاز گردیده و پارامترهای پوشش زمین از طبقه‌بندی IGPB و UMD به ترتیب از سنجنده‌های MODIS و AVHRR استخراج گردیده است (مک نالی و همکاران، ۲۰۱۷a). در واقع،

[17]. NASA Land Information System
[18]. https://nasaharvest.org
[19]. Pervez
[20]. Policelli
[21]. Funk
[22]. Hall
[23]. The Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET)
[24]. Rui & McNally
[25]. Modern-Era Retrospective analysis for Research and Applications version 2 (MERRA-2)
[26]. Land Data Tool Kit
[27]. Ek

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

این مجموعه داده مشتمل بر سری‌هایی از پارامترهای شبیه‌سازی شده سطح زمین از مدل Noah 3.6.1 در شبکه هشدار سریع قحطی (FEWS NET) در داخل سامانه ادغام داده‌های زمین (LDAS) است. در آخرین بروز رسانی مدل در نوامبر ۲۰۲۰، تمام داده‌های FLDAS با ماسک خشکی MOD44W MODIS پیش‌پردازش شده و بر روی شبکه‌های واقع در پهنه‌های آبی داخل خشکی‌ها تصحیحاتی با اعمال این ماسک انجام شده است (مک نالی، ۲۰۱۸) نمونه این ماسک در شکل ۲ و در جنوب شرقی باکس غربی مشاهده می‌شود که آن را بر روی دریاچه ارومیه اعمال نموده‌اند. پارامترهایی که FLDAS در نظر می‌گیرد شامل پارامترهای پوشش گیاهی، ماسک خشکی/طبقه پوشش گیاهی، ارتفاع، خاک‌ها و شاخص سطح برگ (LAI28) و سبزینگی تاج پوشش است. مشخصات کلی FLDAS در جدول (۱) و مجموعه داده‌های سطح زمین در جدول (۲) آمده است (مک نالی و همکاران، ۲۰۱۷a).

جدول (۱). مشخصات داده‌های سامانه FLDAS

Fewsnet Global	LIS 7.1
سیستم تصویر	جغرافیایی (طول و عرض)
گستره فضایی	جهانی(179.95W, 59.95S; 179.95E, 89.95N)
تفکیک مکانی*	۰/۱ * ۰/۱
دوره زمانی	۱۹۸۲/۱/۱ تاکنون (با یک سال spin up)
تفکیک زمانی**	گام‌های زمانی ۱۵ دقیقه‌ای، خروجی روزانه
واداشت	مجموعه داده‌های استخراج شده از سنجنده‌های ماهواره‌ای و تحلیل‌های جوی
واداشت ارتفاعات	۲ متر برای دمای هوا و رطوبت ویژه، ۱۰ متر برای باد
تعریف ارتفاع	SRTM
تعریف پوشش گیاهی	IGBP تعدیل‌شده NCEP (مودیس)، یک کیلومتر
تعریف خاک‌ها	Reynolds, Jackson, and Rawls (۱۹۹۹)
آلبیدو	میانگین اقلیمی، NCEP_Native
حداکثر آلبیدوی برف	Barlage_Native
سبزینگی	کسری سبزینگی NCEP
بافت خاک	STATSGOFAO
ماسک خشکی	مودیس
مدل‌های سطح زمین	Noah 3.6.1
فرمت خروجی	NetCDF
لایه‌های خاک: ۴	۰/۱-۰، ۰/۴-۰/۱، ۱-۰/۴، ۲-۱ متر

* واداشت‌های هواشناختی بزرگ‌مقیاس در هسته نرم‌افزار LIS با استفاده از درون‌یابی دوسویه به‌صورت فضایی تفکیک می‌شوند.

** ورودی‌های روزانه بارش با نرم‌افزار LDT مطابق توزیع بارش مشخص‌شده در واداشت هواشناختی به‌صورت زمانی تفکیک می‌شوند.

[28]. Leaf Area Index (LAI)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

جدول (۲). مجموعه داده‌های ورودی مدل سطح زمین

نوع مجموعه داده	گستره	تفکیک مکانی	تفکیک زمانی	URL
University of Maryland Vegetation Classification	جهان	۱Km	ثابت	http://glcf.umd.edu/data/landcover/
NCEP IGBP Vegetation Classification (MODIS)	جهان	۱Km	ثابت	ftp://ftp.emc.ncep.noaa.gov/mmb/gcp/ldas/noahlsm/README
NCEP monthly albedo	جهان	۰/۱۴۴°	ماهیانه	ftp://ftp.emc.ncep.noaa.gov/mmb/gcp/sfcflds/test/fixed/README_albedo_gfrac.txt;
NCEP monthly green fraction	جهان	۰/۱۴۴°	ماهیانه	ftp://ftp.emc.ncep.noaa.gov/mmb/gcp/sfcflds/test/fixed/README_albedo_gfrac.txt; http://www.emc.ncep.noaa.gov/mmb/gcp/sfcimg/gfrac/index.html
Boston University Leaf Area Index (AVHRR)	جهان	۱Km	ماهیانه	http://cybele.bu.edu/modismisr/products/avhrr/avhrrlaifpar.html
Elevation Database from SRTM	جهان	۳۰ s	ثابت	http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/
FAO Harmonized World Soil Database	جهان	۳۰s	ثابت	http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/index.html

د) اعتبارسنجی: داده‌های ET این مدل[۲۹] برای محدوده موردنظر برای یک دوره زمانی ۳۸ ساله (۱۹۸۲ تا ۲۰۱۹) پس از دریافت با داده‌های ایستگاهی حوضه مقایسه و با استفاده از معیارهای ارزیابی مختلفی شامل: جذر میانگین مربعات خطا[۳۰]، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده[۳۱]، میانگین مطلق خطا[۳۲] و میانگین قدر مطلق درصد خطا[۳۳] به لحاظ کمّی مورد اعتبارسنجی قرار گرفته و دقت مدل در ارتباط با داده‌های ایستگاهی حوضه سنجیده شد. توابع یادشده به‌صورت روابط (۱) تا (۴) تعریف می‌شوند:

$$\mathrm{RMSE}=\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(X_t-Y_t)^2}{n}}$$ رابطه (۱)

$$\mathrm{NRMSE}=\frac{\sqrt{\frac{\sum_{t=1}^{n}(X_t-Y_t)^2}{n}}}{X_{max}-X_{min}}$$ رابطه (۲)

$$\mathrm{MAE}=\frac{\sum_{t=1}^{n}|X_t-Y_t|}{n}$$ رابطه (۳)

$$\mathrm{MAPE}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{X_t-Y_t}{X_t}\right|\times 100$$ رابطه (۴)

که در این روابط n: تعداد زوج داده‌ها، Xt: مقدار داده مشاهداتی در زمان t، Yt: مقدار داده مدل در زمان t،Xmax: بزرگ‌ترین مقدار داده مشاهداتی، Xmin: کوچک‌ترین مقدار داده مشاهداتی است. دامنه سه تابع اولی، از صفر در عملکرد

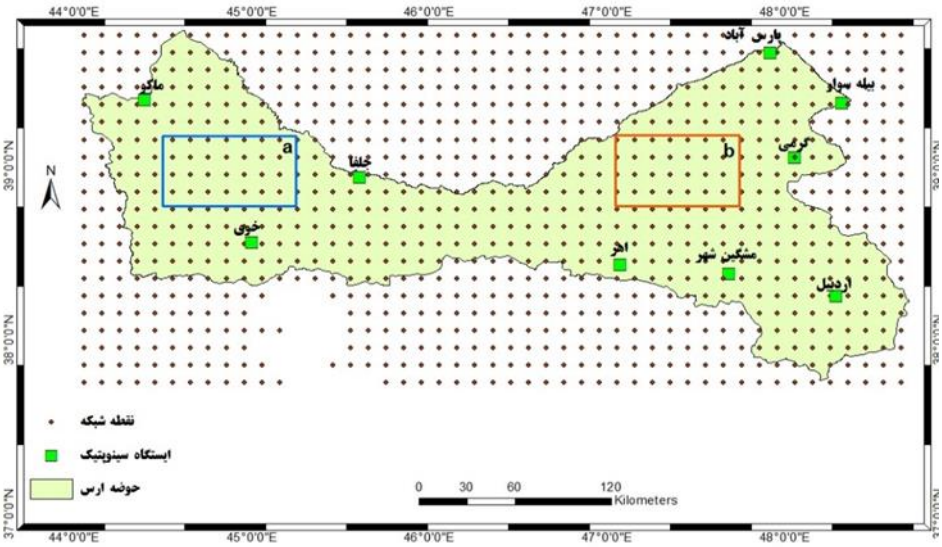
[29]. FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS)
: به اختصار FLDAS_NOAH01_C_GL_M

[30]. Root Mean Squared Error (RMSE)
[31]. Normalized Root Mean Squared Error (NRMSE)
[32]. Mean Absolute Error (MAE)
[33]. Mean Absolute Percentage Error (MAPE)

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

عالی تا بی‌نهایت متغیر است (کارآموز و همکاران: ۱۳۸۵) و هرچند بهترین حالت متصور برای این توابع این است که برابر صفر باشند اما این اتفاق چندان رایج نبوده و هر مدلی با درصدی از خطای تخمین همراه است. لذا این توابع در مورد داده‌های مشاهداتی و مدل، هرقدر به عدد صفر نزدیک باشند نشانه دقت بالای مدل و نزدیک بودن داده مدل به داده مشاهداتی است. تابع (۴) می‌تواند مقادیری بین صفر تا صد داشته باشد.

شکل (۲)، توزیع نقطه شبکه‌های مدل FLDAS در محدوده موردمطالعه را نشان می‌دهد. در شکل، نقطه شبکه‌های واقع در داخل حوضه و موقعیت ایستگاه‌های منتخب به‌عنوان نقاط نماینده برای اعتبارسنجی داده‌ها نمایش داده شده است.



شکل (۲). توزیع نقطه شبکه‌های مدل FLDAS در بخش جنوبی حوضه ارس همراه با موقعیت ایستگاه‌های منتخب و باکس‌های غربی (a) و شرقی (b).

ح) بررسی زمانی-مکانی، ناهنجاری‌های سال‌به‌سال و فراوانی وقوع آستانه‌های خاص ET: پس از اعتبارسنجی، با بهره‌گیری از داده‌های شبکه‌بندی شده ابتدا مقادیر میانگین بلندمدت ET بر روی حوضه تعیین گردید. متعاقب آن، ویژگی ماهانه و فصلی و در ادامه وردایی سال‌به‌سال مقادیر ET با استفاده از ناهنجاری‌های این متغیر موردبررسی قرار گرفت. به‌منظور مقایسه روند ناهنجاری‌های دوره در شرق و غرب حوضه و نمایش تفاوت‌های آن‌ها، محدوده‌ای در غرب حوضه با مختصات ۳۸/۳۹-۷۵/۱۵N عرض شمالی و ۴۴/۴۵-۵/۲۵E طول شرقی و محدوده‌ای نیز بر شرق حوضه با مختصات ۳۸/۳۹-۷۵/۱۵N عرض شمالی و ۴۷-۴۷/۷۵E تعریف شد که در شکل (۲) به ترتیب با حروف a و b نشان داده شده‌اند. نتایج این بررسی ضمن مشخص نمودن روند تغییرات ET بر روی منطقه هم از نظر مکانی و هم از نظر زمانی درعین‌حال سبب شناسایی سال‌های نابهنجار فراگیر اعم از نابهنجاری مثبت و منفی گردیده است. برای شناسایی مناطق دارای فراوانی وقوع تبخیر با آستانه‌های خاص، نقشه‌های فضایی فراوانی مطلق ET با آستانه ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌متر بر حوضه موردمطالعه تهیه گردید. در نهایت، رژیم ماهانه ET حوضه، با محاسبه سهم درصدی هر یک از ماه‌های سال از مجموع سالانه ET برای حوضه به دست آمد.

نتایج و بحث

اعتبارسنجی داده‌ها

برای ارزیابی کمّی داده‌های مدل و دقت آن در تخمین متغیر موردمطالعه در مقایسه با داده مشاهداتی حوضه ارس، از داده‌های ۹ ایستگاه سینوپتیک حوضه استفاده شد. همبستگی (R) و به‌تبع آن، ضریب تعیین (R2)، به ازای افزایش تعداد زوج داده‌ها، مقادیر بالاتری را نشان دادند. به‌عنوان‌مثال، آوریل تا سپتامبر با تعداد داده بیشتر نسبت به ماه‌های سرد سال،

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

مقادیر مطلق همبستگی تا ۰/۶۹ و البته معنادار دارند درحالی‌که در ماه‌های دارای داده ایستگاهی کم تعداد، مقدار همبستگی کمتر است. به‌منظور ارزیابی داده‌ها از شاخص‌های کمّی از قبیل جذر میانگین مربعات خطا، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، میانگین مطلق خطا و میانگین قدر مطلق درصد خطا استفاده شد (جدول ۳). این معیارها نشان می‌دهند بالاترین دقت مدل به ترتیب به بازه زمانی سالانه، زمستان و بهار و ماه‌های این دو مربوط است که ضرایب خطا در آن‌ها کمتر است اما در تخمین ET تابستان، دقت پایینی نسبت به سایر فصول دارد.

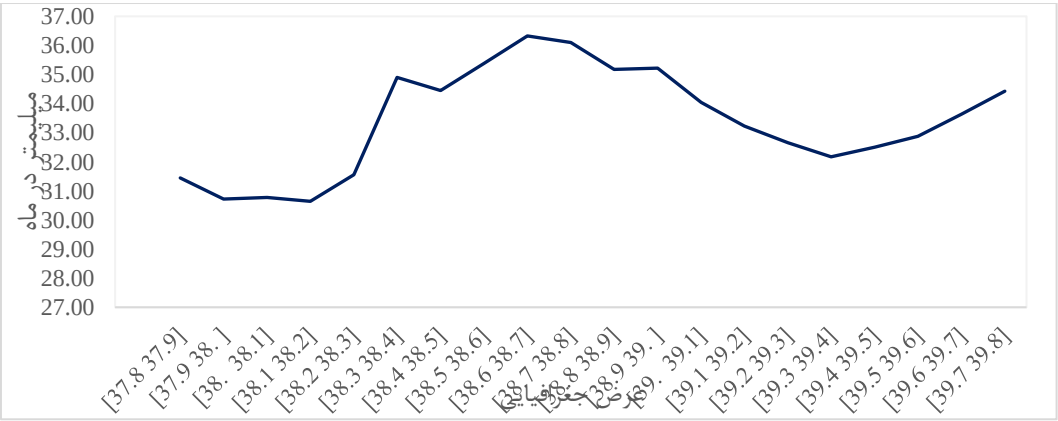
هرچند مدل به اقتضای عدم قطعیت برآوردها، در مواردی مقادیر ET را کمتر از داده مشاهداتی و در مواردی بیشتر از آن برآورد می‌کند باوجوداین اختلاف بین دو داده، با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۳) از ارزیابی زوج داده‌ها و امتیاز پوشش‌دهی کل حوضه از سوی داده مدل در قیاس با داده ایستگاهی پراکنده، قابل‌قبول است.

جدول (۳). نتایج برخی از شاخص‌های ارزیابی زوج داده‌های مشاهداتی حوضه ارس و داده‌های تخمین زده شده متناظر با آن‌ها توسط مدل

تابع ارزیابی	سالانه	زمستان	بهار	تابستان	پاییز	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
RMSE (mm/ day)	۰/۶۷	۰/۱۶	۰/۹۸	۲/۸۲	۱/۳	۰/۳۶	۰/۶۹	۰/۶۷	۲/۲۸	۳/۹	۷	۹/۱۸	۸/۹۷	۶	۳	۰/۸۳	۰/۴۶
NRMSE	۰/۴۷	۰/۳۱	۰/۳۹	۱/۵۸	۰/۴۷	۰/۴۴	۰/۴۸	۰/۴	۰/۶۹	۱/۲	۲	۲	۲/۴	۲/۲	۱/۱	۰/۳۴	۰/۴۷
MAE (mm/ day)	۰/۳۷	۰/۱۳	۰/۸۴	۲/۷۷	۱/۰۶	۰/۲۳	۰/۶۸	۰/۵۸	۲	۳/۷۷	۶/۹	۹/۱	۸/۹	۵/۹۴	۲/۹۴	۰/۶۷	۰/۴۱
MAPE (%)	۰/۲	۲/۴	۰/۹	۰/۹	۱/۲	۱/۳	۱/۲	۵/۴	۲/۳	۲/۶	۲/۷	۳/۴	۳/۵	۳/۶	۳/۲	۰/۷	۲۱

الگوی مداری ET حوضه ارس

با توجه به شکل (۳) میانگین مداری مجموع ET حوضه ارس از جنوب حوضه تا مدار °۳۸/۱۹، روند ET کاهشی، از این مدار تا °۳۸/۶۵، افزایشی؛ از مدار °۳۸/۶۵ تا °۳۹/۳۶ کاهشی و از مدار °۳۹/۳۶ تا شمال حوضه کاهشی است. بیشترین میزان ET در داخل این حوضه نه در پایین‌ترین مدار بلکه در مدار °۳۸/۶۵، ثبت شده است که نشان می‌دهد عرض جغرافیایی و دمای هوا تنها فاکتورهای تعیین‌کننده بیشترین میزان ET در این حوضه نبوده و عوامل محلی و ویژگی‌های اختصاصی محل نیز در آن دخیل هستند.

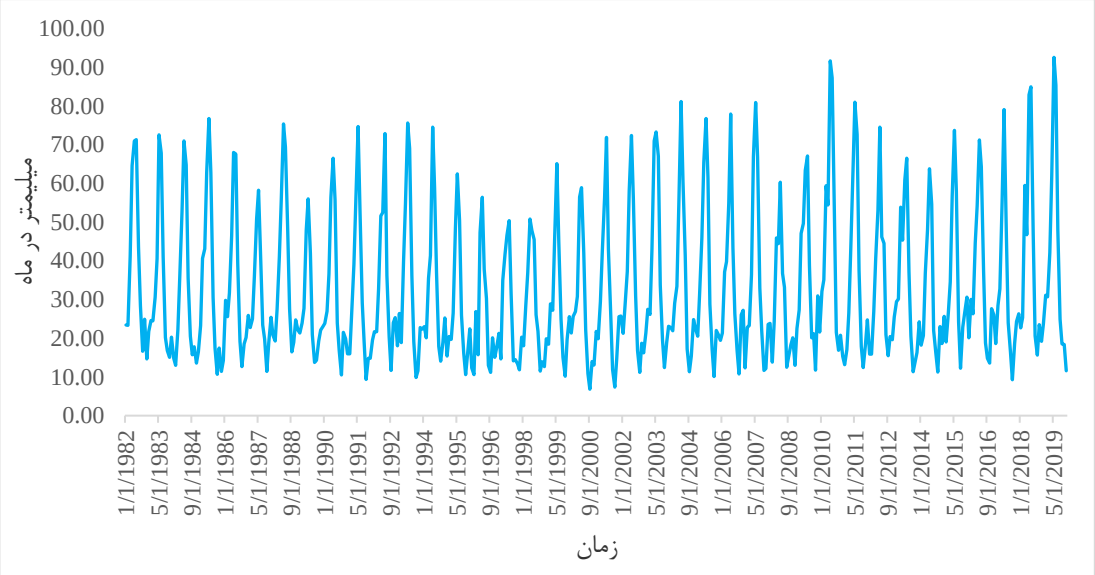


شکل (۳). میانگین مداری مجموع ET از ۱۹۸۲/۱ تا ۲۰۱۹/۱۲ در محدوده تقریبی بخش جنوبی حوضه آبریز ارس (مستخرج از FLDAS_NOAH).

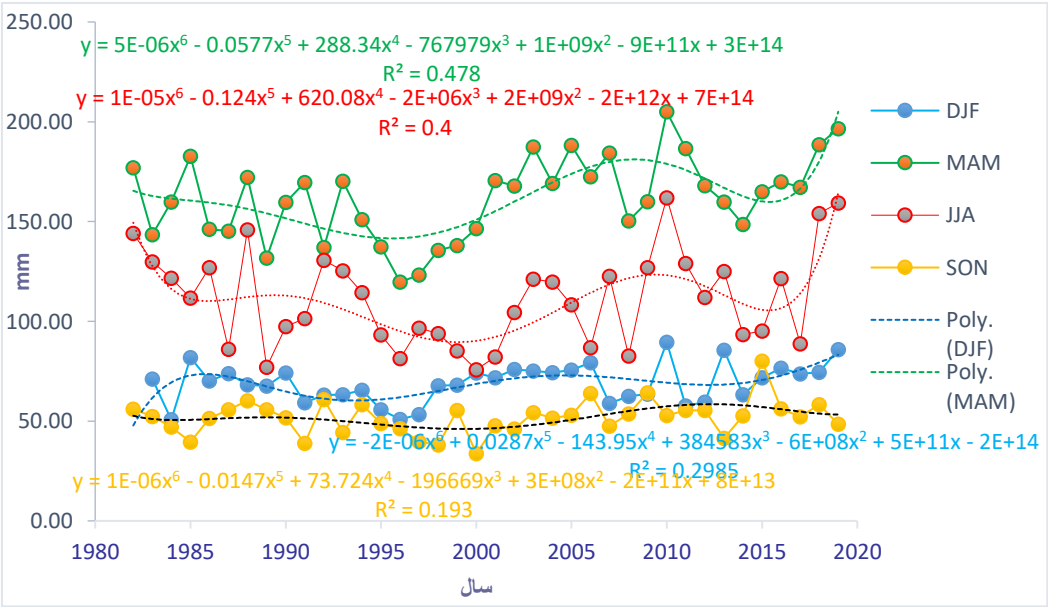
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

سری زمانی ET حوضه

با توجه به شکل (۵) سری زمانی مجموع ET فصلی این حوضه آبریز، دو دوره بارز حضیض -یکی تا قبل از سال ۱۹۹۷ و دیگری ۲۰۱۵-۲۰۱۰ و دو دوره بارز اوج را تقریباً بین سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۹۸ و نیز از سال ۲۰۱۵ به بعد نشان می‌دهد. در طول دوره ۳۸ ساله، بیش‌ترین مقدار ET حوضه برای تمامی فصول به‌استثنای فصل پاییز، در سال ۲۰۱۰ ثبت شده است. سری زمانی میانگین ناحیه‌ای ET محدوده موردمطالعه در بازه زمانی ۲۰۱۸-۱۹۸۲، روند افزایش نسبی را نشان می‌دهد. از نظر دامنه تغییرات ET، فصول تابستان و بهار بیش‌ترین میزان تغییر (۰/۹ mm/day) را داشته و پاییز و زمستان به ترتیب دامنه تغییری به میزان ۰/۵ mm/day و ۰/۴ داشتند.



شکل (۴). سری زمانی میانگین ناحیه‌ای مقادیر مجموع ET ماهانه از ۱۹۸۲/۱ تا ۲۰۱۹/۱۲ در محدوده تقریبی بخش جنوبی حوضه آبریز ارس (مستخرج از FLDAS_NOAH).



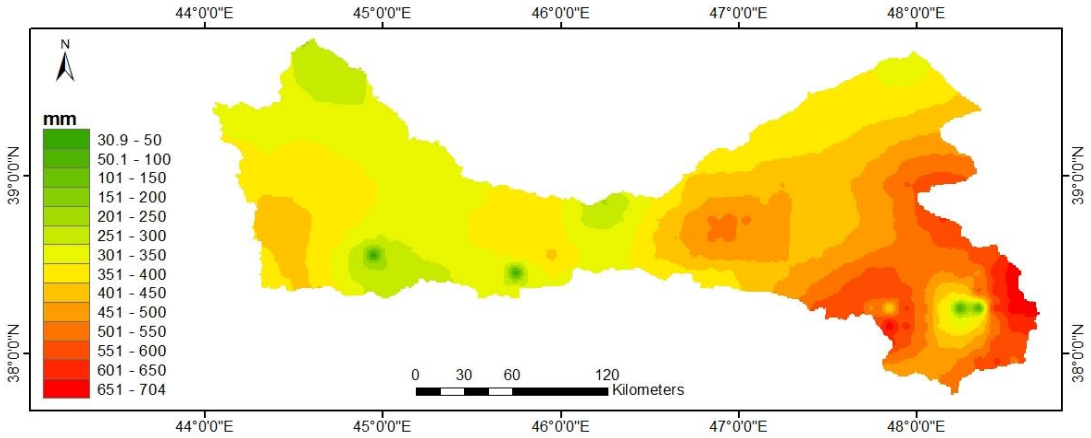
شکل (۵). سری زمانی و پلی نومینال (مرتبه ۶) مجموع ET فصول در بخش جنوبی حوضه آبریز ارس طی دوره موردمطالعه (مستخرج از FLDAS_NOAH).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

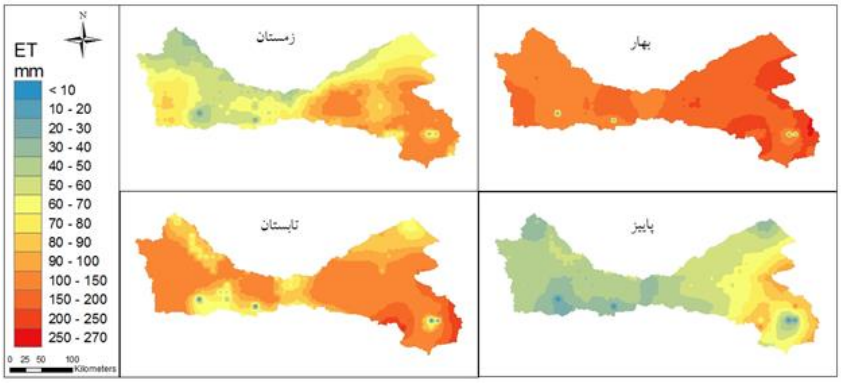
بررسی زمانی و مکانی

بررسی مقادیر متوسط سالانه ET برای یک دوره ۳۸ ساله در حوضه ارس بیانگر آن است که بخش‌های جنوب‌شرقی حوضه به‌استثنای حوالی جنوب شهر اردبیل، بالاترین میزان ET سالانه را به میزان حداکثر ۷۰۴ میلی‌متر تجربه می‌نمایند (شکل ۶). در مرتبه بعد نیز شمال‌شرق حوضه به‌جز پارس‌آباد و نیز منتهی‌الیه جنوب‌غربی، مقدار ET بیش از سایر بخش‌های حوضه دارد. بیشینه‌ها در شرق و جنوب‌غربی حوضه با ارتفاعات مطابقت زیادی دارند.



شکل (۶). مقادیر میانگین سالانه ET در حوضه رود ارس.

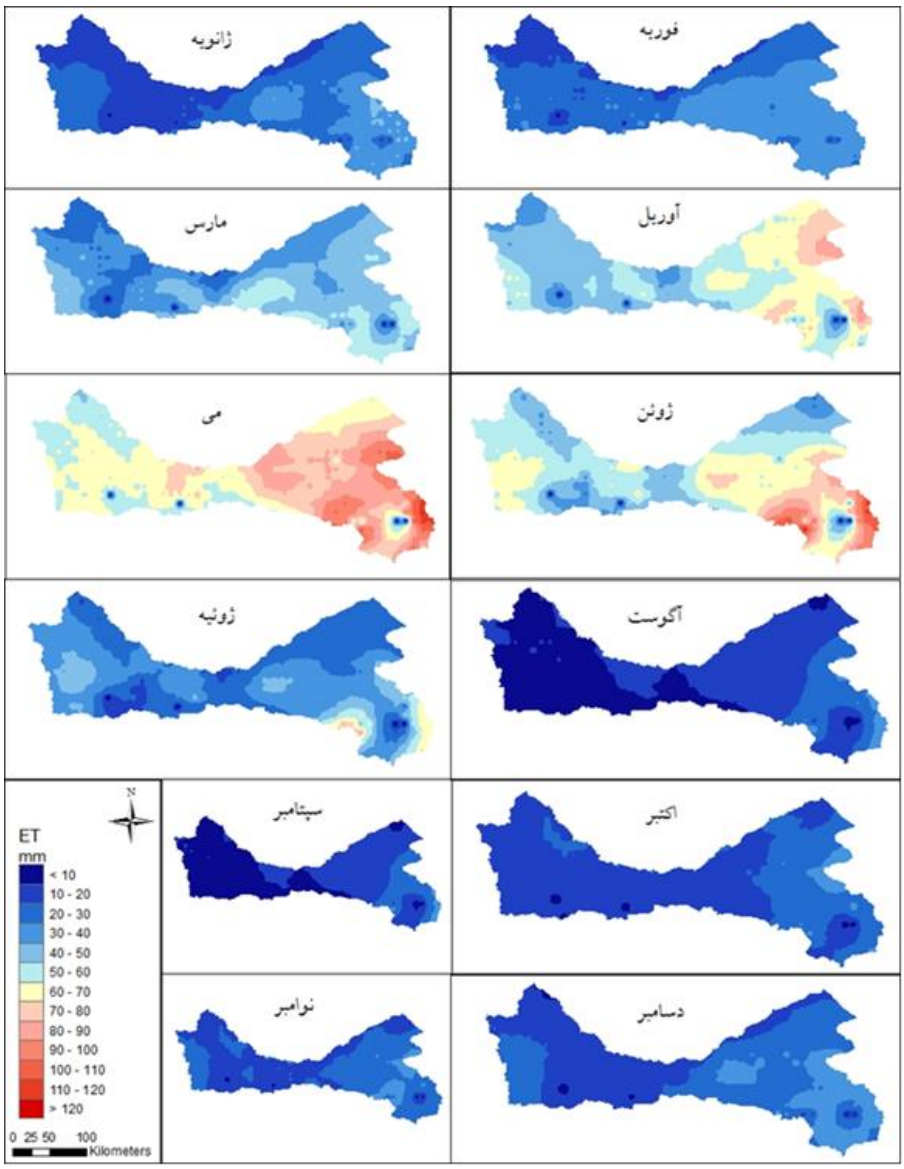
متوسط ET در سطح حوضه ارس طی دوره موردمطالعه، در فصول بهار، تابستان، زمستان و پاییز به ترتیب ۱۶۱، ۱۱۱، ۶۹ و ۵۱ میلی‌متر بوده است (نقشه‌های شکل ۷). در این حوضه میزان ET در بهار تا ۲۷۰، در تابستان تا ۲۵۹، در زمستان تا ۱۳۰ و در پاییز تا ۱۰۶ میلی‌متر را نشان می‌دهد. لذا، فصل بهار بالاترین میزان ET را در این حوضه طی ۳۸ سال موردمطالعه به خود اختصاص داده است. دلیل آن را می‌توان به فراهم بودن شرایط تبخیر-تعرق در این فصل از جمله: وجود منابع آب در دسترس برای تبخیر از سطح خاک و تعرق از سطح گیاهان به‌تبع بالا رفتن میانگین دمای هوا، کاهش چشمگیر روزهای یخبندان، افزایش ساعات آفتابی، ذوب برف از ارتفاعات و وجود آب کافی، بارش باران، وزش باد و به‌خصوص تمرکز داشتن بیشینه تراکم و گسترش پوشش گیاهی منطقه در این موقع از سال نسبت داد. فصل تابستان، دومین فصل دارای ET بالا است. از دلایل زمینه‌ساز برای مقادیر ET بالاتر در فصل تابستان می‌توان به بالا بودن دمای هوا اشاره کرد. در زمستان، مقدار ET در مناطق ارتفاعی حوضه بیش از مناطق کم‌ارتفاع‌تر است که نشان می‌دهد شیب زمین و زاویه تابش از جمله عوامل مؤثر در میزان این پدیده در فصل سرد سال هستند. طی هر ۴ فصل، بالاترین مقادیر مربوط به نیمه شرقی است، به‌ویژه حوالی ایستگاه سینوپتیک اردبیل و در مرتبه دوم ایستگاه‌های اهر و پارس‌آباد، بیش‌ترین مقدار ET را نشان می‌دهند. در طول دوره مذکور، در غرب حوضه نیز بخش واقع در غرب خوی به‌طور مشخص ET بیش‌تری را نشان می‌دهد.



شکل (۷). مقادیر میانگین فصلی ET در حوضه رود ارس.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

توزیع فضایی مقادیر ماهانه FLDAS ET طی دوره ۳۸ ساله نشان می‌دهد (شکل ۸) در تمامی ماه‌ها، نیمه‌ی شرقی حوضه از حوالی اهر به بعد، مقادیر بالاتری نسبت به نیمه‌ی شرقی داشته است. از حیث بالاترین مقادیر ET، ماه می به مرکزیت جنوب غربی ایستگاه اردبیل و شرق نمین (با ارقامی تا ۱۲۰ میلی‌متر) در مرتبه‌ی اول قرار دارد. در مراتب بعدی، به ترتیب ژوئن، آوریل و مارس، مقادیر ET بالاتری را نشان می‌دهند. این حوضه طی ماه‌های سپتامبر تا دسامبر، ET تقریباً کمتر از ۴۰ میلی‌متر داشته است. توزیع فضایی ET حوضه در ژانویه، فوریه و ژوئن نیز مشابه همان ماه‌ها است البته با مقادیر اندکی بیش‌تر که به‌صورت موضعی در شرق حوضه (فوریه و ژانویه) و به‌صورت پراکنده در شرق و غرب حوضه (ژوئن) قرار دارند. نظیر الگوی سالانه، مقادیر بیشینه در شرق و به‌ویژه جنوب‌شرقی حوضه مشاهده می‌گردد. در بررسی ماه‌به‌ماه مقادیر ET با آغاز دوره گرم سال، مقادیر بیشینه ET در شرق حوضه مشاهده می‌گردد، به‌طوری‌که در ماه آوریل بخش شرقی حوضه، مقادیر بیشینه را تجربه می‌نماید. با پیشروی دوره گرم، در ماه‌های می و ژوئن، علاوه بر بیشینه مشاهده شده در شرق حوضه، میزان اختلاف مداری مقادیر ET در منتهی‌الیه شرقی و غربی حوضه به شدت افزایش می‌یابد. تفاوت‌های فضایی در این موقع از سال به‌گونه‌ای است که در ماه می، ضمن مشاهده مقادیر بیشینه ET به میزان ۱۲۰ میلی‌متر در منتهی‌الیه شرق حوضه، میزان تفاوت مداری نیز به ۷۰ میلی‌متر بالغ می‌گردد.

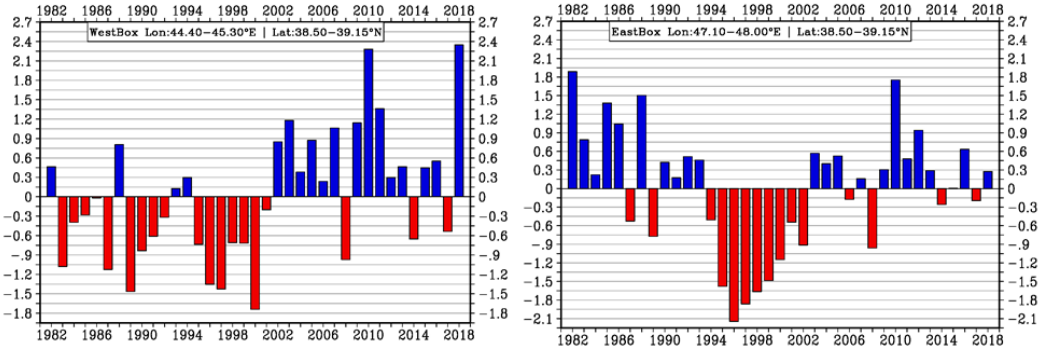


شکل (۸). نقشه‌های ماهانه ET حوضه ارس میانگین‌گیری شده برای دوره ۳۸ ساله (۲۰۱۹-۱۹۸۲) برحسب میلی‌متر.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

نابهنجاری‌های سال‌به‌سال

نابهنجاری‌های ET حوضه با استفاده از آماره نمرات Z این متغیر محاسبه گردید. با توجه به شکل‌های (۹) و (۱۰) بررسی سال‌به‌سال نابهنجاری‌های تبخیر و تعرق، مبین آن است که حوضه ارس در طی ۳۸ سال موردمطالعه سه دوره اصلی را تجربه نموده است. دوره‌های یادشده عبارت‌اند از دوره ۱۹۸۲ تا ۱۳۹۳ (دوره اول)، دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۱ (دوره دوم) و دوره ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ (دوره سوم). در دوره اول، غرب حوضه نابهنجاری منفی را تجربه نموده است. این در حالی است که شرق حوضه در زمانی مشابه، مقادیر تبخیر و تعرق سالانه بالاتر از میانگین را نشان داده است. به نظر می‌رسد نابهنجاری‌های مثبت حوضه شرقی در دوره اول، ناشی از نفوذ رطوبت دریای خزر و افزایش وقوع بارش‌ها با منشأ خزری در این منطقه باشد. توضیح بیشتر آن که، نتیجه افزایش بارش در حوضه شرقی، می‌تواند افزایش میزان ET در دوره یادشده را تبیین نماید. در دوره‌های دوم و سوم شاهد یک نابهنجاری مشابه در حوضه شرقی و غربی هستیم (شکل ۹).

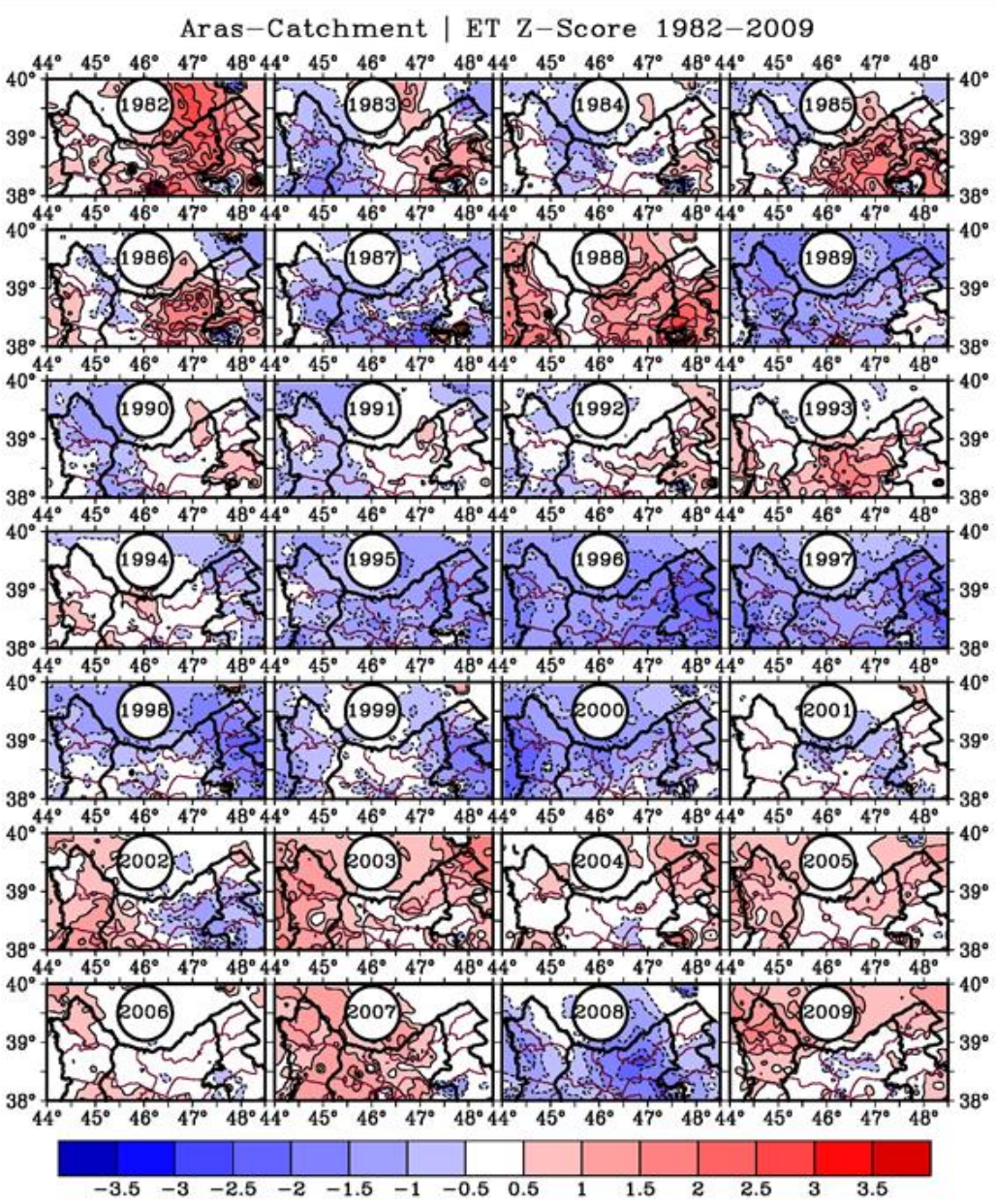


شکل (۹). مقایسه وضعیت ET در محدوده شرقی (سمت راست) و غربی حوضه (سمت چپ) در طول دوره ۳۸ ساله. از باکس‌های تعریف شده در شکل ۲ برای محاسبه نمره Z استفاده شده است.

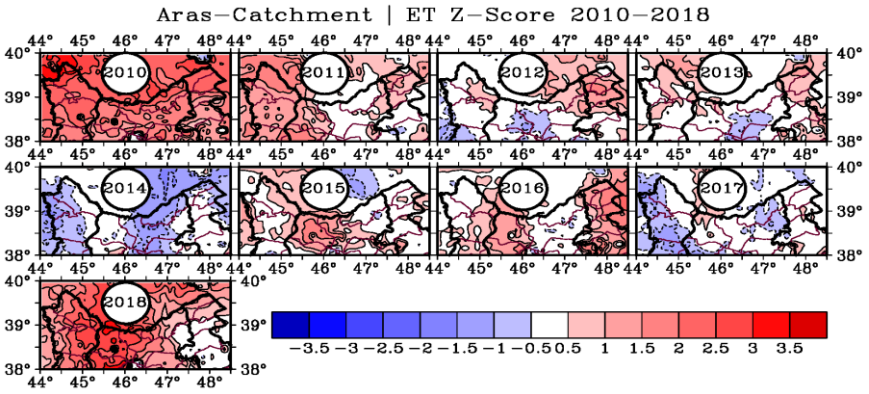
اگرچه میزان نابهنجاری‌های منفی در دوره دوم در حوضه شرقی و میزان نابهنجاری‌های مثبت در حوضه غربی در دوره سوم برجسته‌تر و پیوسته‌تر می‌باشند. مقایسه کلی دو حوضه شرقی و غربی، بیانگر آن است که تفاوت‌های منطقه‌ای در مقادیر تبخیر و تعرق در منطقه موردمطالعه می‌بایست ناشی از تأثیر واداشت‌های خارجی (برای مثال سامانه‌های بارش‌زای مدیترانه‌ای، سامانه‌های برون‌حاره‌ای و خزری)، در محدوده موردمطالعه باشد. این تفاوت‌ها با تغییر در علامت ناهنجاری‌ها در دوره اول و تفاوت در میزان شدت و تداوم نابهنجاری‌ها در دوره‌های دوم و سوم برای بخش‌های شرقی و غربی قابل‌مشاهده می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، نتایج نشان‌دهنده آن است که، تقریباً کل حوضه از سال ۲۰۰۲ به بعد دارای نابهنجاری مثبت بوده است. این یافته به شکل بارزتری در نقشه‌های فضایی نابهنجاری‌های سال‌به‌سال منطقه موردمطالعه (شکل ۱۰) قابل‌مشاهده هستند. تا قبل از سال ۲۰۰۲، نابهنجاری مثبت فراگیر فراوانی کمتری داشته‌اند. برای مثال، طی سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۸، نابهنجاری مثبت در اغلب مساحت حوضه مشاهده می‌شود.

درحالی‌که بعد از سال ۲۰۰۲، به‌جز چند مورد نابهنجاری منفی ضعیف، تقریباً کل حوضه نابهنجاری مثبت را تجربه نموده است. این نکته نشانگر بالا بودن میزان ET در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های قبل است. شاید بتوان افزایش برجسته سال‌های با ناهنجاری مثبت در دو دهه گذشته را به پدیده گرمایش جهانی نسبت داد. شدیدترین نابهنجاری مثبت (۲/۴ و ۲/۲۵) به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۱۰ برای غرب حوضه و با شدت کمتر از آن‌ها در سال ۱۹۸۲ و ۲۰۱۰ برای شرق حوضه ثبت شده است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]



شکل (۱۰). نقشه‌های نابهنجاری سال‌به‌سال ET در حوضه ارس.

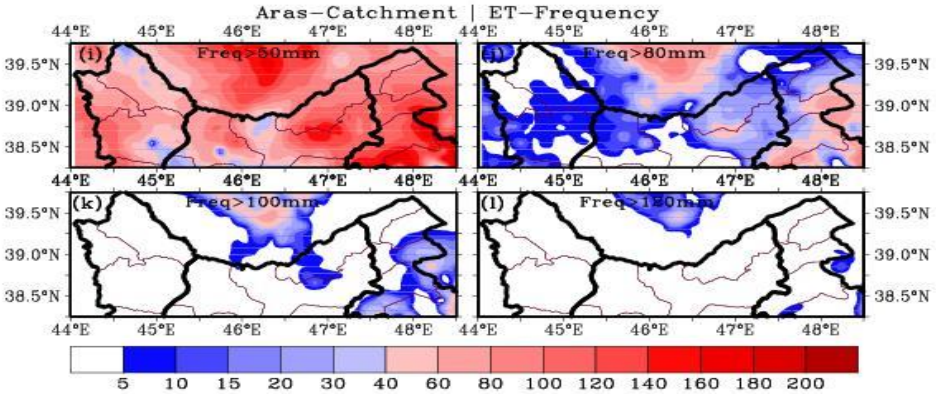


ادامه شکل (۱۰). نابهنجاری‌های سال‌به‌سال ET در حوضه رود ارس.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

با توجه به شکل (۱۱)، پراکندگی فضایی فراوانی وقوع ET برابر و بیشتر از ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌متر در حوضه ارس طی دوره آماری موردمطالعه نشان داد که کل حوضه- به‌جز نقاط کوچکی- دارای فراوانی بین ۲۱۰-۲۰ مورد برای ET بیش از ۵۰ mm می‌باشد. فراوانی‌های بالاتر مربوط به بخشی از اهر و کلیبر و جنوب‌شرق حوضه است. فراوانی‌های بیش از ۸۰ mm مابین کمتر از ۵ مورد در مرکز و شمال‌غرب حوضه تا ۱۰۰-۸۰ مورد در شرق حوضه متغیر است. بخش غربی حوضه تا ۴۰ مورد نیز فراوانی ET ماهانه ۸۰ mm داشته است. فراوانی ET ماهانه ۱۰۰ mm در نیمه غربی و بخش زیادی از شرق حوضه، کمتر از ۵ مورد بوده و در اهر و کلیبر و بخشی از شرق حوضه بین ۱۰ تا ۴۰ مورد ثبت شده است. فراوانی ET ماهانه ۱۲۰ میلی‌متری به‌استثنای هسته کوچکی در گرمی مغان و جنوب‌شرقی سبلان (تا ۱۰ مورد)، در سایر نقاط حوضه کمتر از ۵ مورد بوده است.

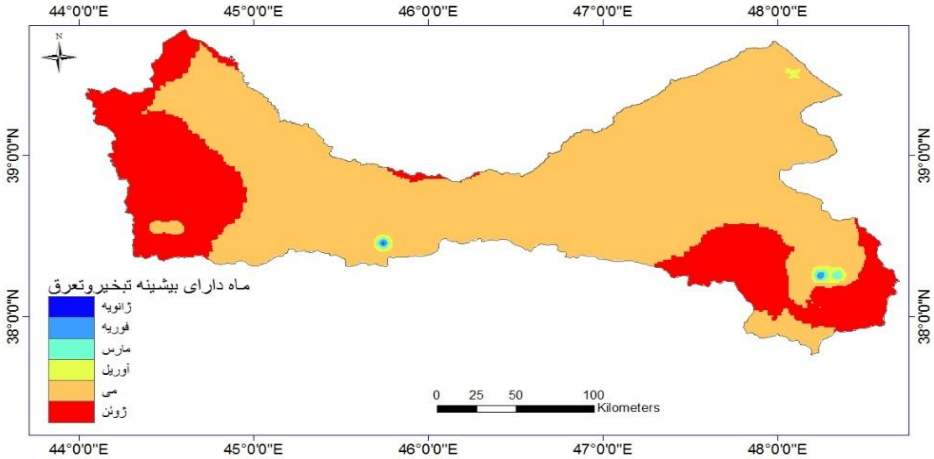


شکل (۱۱). فراوانی وقوع تبخیر و تعرق برابر و یا بیشتر از ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌متر در هر نقطه شبکه برای حوضه ارس برای ۳۸ سال (۴۵۶ ماه).

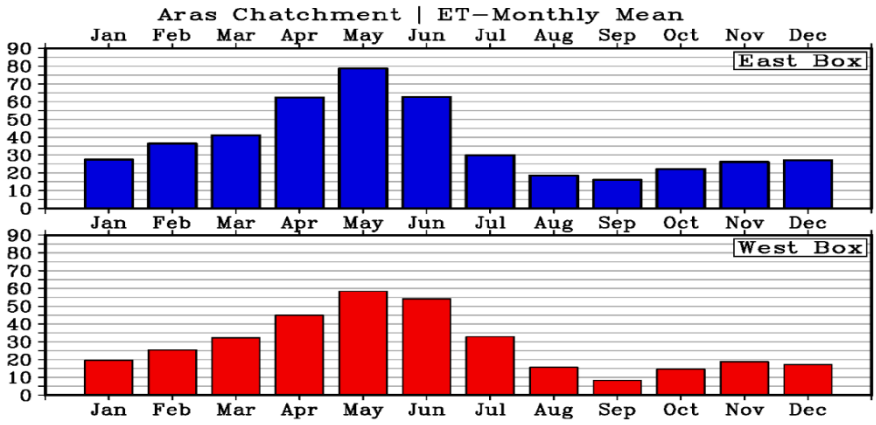
رژیم ماهانه ET

جهت تعیین رژیم ماهانه ET حوضه ارس، تهیه شد. با توجه به شکل (۱۲)، بخش اعظمی از حوضه ارس بالاترین سهم ماهانه ET خود را در ماه می تجربه می‌نماید. بااین‌وجود، در بخشی از غرب و جنوب‌شرق حوضه، بیش‌ترین میزان ET در ماه ژوئن مشاهده می‌گردد. البته به‌طور استثنایی دو محدوده بسیار کوچک در شرق حوضه بر روی شهر اردبیل و شمال جعفرآباد مغان و محدوده کوچک دیگری بر روی شهر مرند مشاهده می‌شود که در ماه‌های ژانویه و فوریه بالاترین مقادیر ET خود را تجربه می‌نمایند. به نظر می‌رسد، خروجی‌های مدل FLDAS توانسته است به‌خوبی تأثیر وادشت‌های گرماییِ محلی شهرها را در مقادیر ET آشکارسازی نماید. به‌طورکلی دلیل شکل‌گیری این محدوده‌های کوچک را می‌توان جزایر گرمایی شهری و به‌طورکلی تأثیر شهرها بر ویژگی‌های اقلیمی در مقیاس محلی عنوان نمود که سبب تغییر رژیم طبیعی حاکم بر منطقه شده و به سبب افزایش دما و تغییر موازنه محلی تابش، مقادیر برف و تبخیر را در مقیاس محلی در ماه‌های زمستانی دچار تغییر نموده است. جهت بررسی جزییات رژیم ماهانه ET در حوضه ارس، وضعیت میانگین درازمدت ماهانه این متغیر در دو باکس شرقی و غربی محاسبه شد و در شکل (۱۳) نشان داده شد. همان‌طوری که در این شکل مشاهده می‌گردد، بیشینه مقادیر ET در هر دو باکس شرقی و غربی در ماه می به وقوع می‌پیوندد و به‌طورکلی فصل بهار و ابتدای فصل تابستان بالاترین مقادیر ET در هر دو باکس مشاهده می‌گردد. در مقابل، بخش پایانی فصل گرم و پاییز و زمستان به ترتیب پایین‌ترین مقادیر ET را تجربه می‌نمایند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]



شکل (۱۲). رژیم ماهانه ET در حوضه ارس.



شکل (۱۳). مقادیر میانگین ماهانه درازمدت ۳۸ ساله (۲۰۱۹-۱۹۸۲) ET در دو باکس شرقی و غربی در حوضه ارس بر اساس داده FLDAS.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش ET حوضه ارس در بازه زمانی ۲۰۱۹-۱۹۸۲ بر مبنای برآورد مدل FLDAS Noah بررسی شد. نمودار میانگین مداری ET در حوضه ارس، مدار ۳۸/۶۵° را دارای بالاترین میزان ET نشان داد. توزیع فضایی ET سالانه و ماهانه در این حوضه طی دوره ۳۸ ساله نشانگر این است که میزان ET از شرق حوضه به غرب آن کاهش می‌یابد. فصل بهار از بین فصول، بیش‌ترین میزان ET را به خود اختصاص داده است و تابستان در مرتبه بعدی قرار دارد. در مقیاس ماهانه نیز، ماه می و سپس ماه‌های ژوئن، آوریل و مارس بالاترین میزان ET را داشتند. هم‌چنان‌که رژیم کلی ET حوضه نشان داد که قسمت‌های زیادی از حوضه در ماه می دارای بالاترین مقادیر ET ماهانه نسبت مجموع سالانه ET هستند؛ اما در بخش ارتفاعات غرب و ارتفاعات جنوب شرق حوضه حوالی شهر اردبیل و توده کوهستانی سبلان، ژوئن بالاترین سهم درصدی ET را نسبت به مجموع سالانه ET تجربه می‌نماید. لذا، رژیم ماهانه ET حوضه ارس نشان داد خروجی‌های مدل FLDAS توانسته‌اند به‌خوبی تأثیر وادشت‌های گرماییِ محلی شهرها را در مقادیر ET آشکارسازی نماید.

ناهنجاری‌های سال‌به‌سال ET حوضه ارس نشان داد که تا قبل از سال ۲۰۰۲، فراوانی و گستره نابهنجاری‌های مثبت چندان بارز نبوده اما بعد از این سال به‌جز چند مورد نابهنجاری منفی ضعیف، تقریباً کل حوضه نابهنجاری مثبت داشته است. این یافته نشان می‌دهد میزان ET در این سال‌ها نسبت به سال‌های قبل بالاتر از میانگین دوره بوده است. این افزایش می‌تواند تبعی از گرمایش جهانی باشد. هم‌چنان‌که نتیجه پژوهش معصوم‌پور و همکاران (۱۳۹۳) در رصد دهه‌ای روند تبخیر-تعرق ایستگاه‌های ایران نیز نشان داد میزان تبخیر-تعرق در تمامی ایستگاه‌ها طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۰ افزایش یافته است

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

به‌گونه‌ای که ۵۲ درصد ایستگاه‌های واقع در مناطق خشک، خارج از محدوده اطمینان ۱/۹۶+ قرار گرفتند. می‌توان نتیجه گرفت در قیاس با گذشته از سال ۲۰۰۰ به بعد نابهنجاری مثبت ET در کل کشور فراگیر بوده که حوضه ارس از آن مستثنا نبوده است.

پراکندگی فضایی فراوانی وقوع تبخیر- تعرق بیش‌تر از ۵۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ میلی‌متر در حوضه ارس طی دوره آماری موردمطالعه نشان می‌دهد که تمرکز بیشینه‌های آستانه‌ها در شرق حوضه است. یکی از دلایل وجود فراوانی‌های ET بیش از ۵۰ تا ۱۲۰ میلی‌متر در شرق حوضه می‌تواند ناشی از نزدیکی این بخش از حوضه به منبع آبی دریای خزر باشد. هم‌چنان‌که موحد دانش (۱۳۷۳) خشکی قسمت‌های غربی حوضه ارس در مقایسه با شرق آن را ناشی از رطوبت و بارش کافی حاصل از عبور جریان‌های مرطوب با منشأ دریای خزر و نزدیکی بخش‌های شرقی ارس تا حوالی اهر عنوان کرده است که بخش‌های غربی از این جریان‌ها بهره چندانی نمی‌برند. از طرفی دانشور وثوق و همکاران (۱۳۹۰) به افزایش بارندگی اردبیل اشاره نموده‌اند و اسمعیل‌پور و دین‌پژوه (۱۳۹۱) دریافتند روند بارش اردبیل تا سال ۲۰۰۸، افزایشی بوده است. به نظر می‌رسد وجود نابهنجاری‌های مثبت و تمرکز بیشینه‌ها در نیمه شرقی حوضه، ناشی از نفوذ رطوبت دریای خزر و افزایش وقوع بارش‌ها با منشأ خزری در این منطقه باشد. لذا برای پژوهش‌های بعدی پیشنهاد می‌شود به‌منظور بررسی نقش و میزان تأثیر دریای خزر در توزیع بارش و میزان ET حوضه ارس، در دو حالت با و بدون وجود دریای خزر مدل‌سازی اقلیمی انجام شود.

با توجه به نقش تبخیر و تعرق در بیلان آب و اهمیت آن در فعالیت‌های کشاورزی و نیز با لحاظ بالا بودن این متغیر در شرق حوضه در مقایسه با غرب آن، ضمن ضرورت بازبینی در نوع کشت‌ها و انتخاب گونه‌های سازگار با اقلیم بخش‌های دارای ET بالاتر، پیشنهاد می‌گردد اقدامات مؤثری در زمینه کانال‌های روباز بخش شرقی حوضه جهت مدیریت بهینه آب و کاستن از هدر رفت آن طی فرآیند تبخیر از روی سطوح کانال‌های آب‌رسانی موردتوجه قرار گیرد. همچنین تمرکز بیشینه این متغیر در ماه‌های حیاتی (از نظر تأمین آب محصولات زراعی و احتمال تنش آبی در گیاهان) به‌ویژه ماه‌های فصل بهار و اوایل تابستان، ضروری است گونه‌های حساس به تنش آبی بررسی و شناسایی‌شده و تقویم کشت برخی از محصولات متناسب با این الگو اصلاح گردد.

منابع

احمدی، حمزه؛ فلاح قالهری، غلامعباس؛ شائمی، اکبر. (۱۳۹۵). برآورد و ارزیابی روند تغییرات تبخیر-تعرق مرجع سالانه بر اساس پارامترهای اقلیمی مؤثر در شمال شرق ایران. *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۶ (شماره ۳ بخش ۲): ۲۵۷-۲۶۹.

اسدی، مهدی؛ کرمی، مختار. (۱۳۹۹). برآورد میزان تبخیر و تعرق در استان فارس با استفاده از شاخص‌های تجربی، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰ (۵۶)، ۱۷۵-۱۵۹. doi: 10.29252/jgs.20.56.159

اسمعیل‌پور، مرضیه؛ دین‌پژوه، یعقوب. (۱۳۹۱). تحلیل روند بلندمدت تبخیر و تعرق پتانسیل در حوضه جنوبی رود ارس، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۳ (۳): ۲۱۰-۱۹۳.

بابامیری، امید؛ نوذری، حامد؛ معروفی، صفر. (۱۳۹۵). برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل بر اساس مدل‌های تصادفی سری زمانی (مطالعه موردی ایستگاه تبریز)، *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۸ (۱۵): ۱۳۷-۱۴۶. doi: 10.29252/jwmr.8.15.137

پورمحمدی، سمانه؛ دستورانی، محمدتقی؛ مختاری، محمدحسین؛ رحیمیان، محمدحسن. (۱۳۸۹). تعیین و پهنه‌بندی تبخیر و تعرق واقعی توسط تکنیک سنجش‌ازدور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: حوزه آبخیز منشاد در استان یزد)، *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۴ (۱۳): ۲۱-۳۰.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

پیرمرادیان، نادر؛ ابول‌پور، بهروز. (۱۳۸۹). تخمین تبخیر- تعرق بالقوه گیاه مرجع با استفاده از منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی، *مجله علوم زیستی*، ۴ (۳ پیاپی ۱۴): ۳۴-۲۱.

جوشنی، علیرضا؛ خوشحال، جواد؛ زارع ابیانه، حمید. (۱۳۹۳). ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر و تعرق مرجع با روش تشت تبخیر FAO در حوضه آبریز شرق و جنوب شرق کشور، *اندیشه جغرافیایی*، ۸ (۱۵): ۵۳-۷۴.

جهانبخش، سعید؛ رضایی بنفشه، مجید؛ اسمعیل‌پور، مرضیه؛ تدینی، مریم. (۱۳۹۱). ارزیابی مدل‌های برآورد تبخیرتعرق پتانسیل و توزیع مکانی سالانه آن در حوضه جنوبی رود ارس، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۶ (۴۰): ۲۵-۴۶.

دانشور وثوق، فرناز؛ دین‌پژوه، یعقوب؛ اعلمی، محمدتقی. (۱۳۹۰). تأثیر خشک‌سالی بر تراز آب زیرزمینی در دو دهه اخیر (مطالعه‌ی موردی: دشت اردبیل)، *نشریه دانش آب و خاک*، ۲۱ (۴): ۱۷۰-۱۶۵.

دهقان، هادی؛ عرب سلغار، علی اکبر؛ کاوه، فریدون. (۱۳۸۸). بررسی روند تغییرات فراسنج‌های آب و هوایی در اقلیم نیمه‌خشک ایران، *مجله مهندسی منابع آب*، ۲ (۴): ۲۳-۳۲.

دین‌پژوه، یعقوب؛ جهانبخش اصل، سعید؛ فروغی، معصومه. (۱۳۹۷). تحلیل حساسیت تبخیر تعرق به تغییر در پارامترهای هواشناسی در شمال غرب و غرب ایران، *نشریه حفاظت منابع آب و خاک*، ۸ (۲): ۱-۱۴.

زارع ابیانه، حمید؛ بیات ورکشی، مریم؛ سبزی پرور، علی اکبر؛ معروفی، صفر؛ قاسمی، عادل. (۱۳۸۹). ارزیابی روش‌های مختلف برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع و پهنه‌بندی آن در ایران، *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)*، ۷۴: ۱۱۰-۹۵.

سلطانی، اسعد؛ میرلطیفی، سیدمجید؛ دهقانی سانیج، حسین. (۱۳۹۱). برآورد تبخیر-تعرق مرجع با استفاده از داده‌های محدود هواشناسی در شرایط اقلیمی مختلف، *نشریه آب و خاک*، ۲۶ (۱): ۱۳۹-۱۴۹.doi: 10.22067/jsw.v0i0.13637

سیمایی، الهه؛ همایی، مهدی؛ نوروزی، علی اکبر. (۱۳۹۲). ارزیابی مدل SEBAL برای برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از اطلاعات سنجنده‌های TM و MODIS، *حفاظت منابع آب و خاک*، ۲ (۴): ۲۹-۴۰.

علی زاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ خانجانی، محمدجواد؛ رهنورد، محمدرضا. (۱۳۸۳). ارزیابی روش‌های برآورد تبخیر- تعرق در مناطق خشک ایران، *تحقیقات جغرافیایی*، ۱۹(۲ (پیاپی ۷۳))، ۹۷-۱۰۵.

فرهودی، رحمت‌الله؛ شمسی‌پور، علی‌اکبر. (۱۳۷۹). برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه سیستان جنوبی، *پژوهش‌های جغرافیایی*، ۳۲(۳۹): ۱۰۵-۱۱۴.

فولادمند، حمیدرضا. (۱۳۸۶). ارزیابی پنج روش محاسبه تبخیر تعرق ماهانه در منطقه شیراز، *نشریه علوم کشاورزی*، ۱۳ (۲): ۳۷۱-۳۷۹.

قربانی، اردوان؛ فرامرزی، محمد؛ کرمی، جلال؛ غلامی، نبی‌الله؛ سبحانی، بهروز. (۱۳۹۴). ارزیابی مقایسه‌ای الگوریتم‌های سبال و متریک در برآورد تبخیر و تعرق (مطالعه موردی: شهرستان ملایر)، *برنامه‌ریزی و آمایش فضا*، ۱۹ (۲): ۱۸۴-۱۵۳.

قلیزاده الپاوت، حمید؛ امینی‌نیا، کریم. (۱۳۹۴). بررسی تغییرات زمانی تبخیر-تعرق پتانسیل در تبریز، *فضای جغرافیایی*، ۱۵ (۴۹): ۳۵-۱۹.

کارآموز، محمد؛ رمضانی، فرید؛ رضوی، سامان. (۱۳۸۵). پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از سیگنال‌های هواشناسی: کاربرد شبکه‌های عصبی مصنوعی، *هفتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران*، تهران ۲۰-۱۸ اردیبهشت. https://civilica.com/doc/5943/

کریمی، علیرضا؛ فرهادی بانسوله، بهمن؛ حصادی، همایون. (۱۳۹۱). برآورد تبخیر و تعرق واقعی در مقیاس منطقه‌ای با استفاده از الگوریتم سبال و تصاویر لندست، *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، ۶ (۴): ۳۵۳-۳۶۴.

کیانی سفیدان جدید، طاهره. (۱۳۸۴). تحلیل سینوپتیکی بارش‌های رگباری در حوضه جنوبی ارس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، استاد راهنما: بهروز ساری صراف، تبریز، دانشگاه تبریز، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، گروه جغرافیا.

مباشری، محمدرضا؛ خاوریان، حسن، (۱۳۸۳). تجزیه‌وتحلیل روش‌های استفاده از ماهواره در تعیین میزان تبخیر و تعرق، *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۳ (۳): ۹۸-۸۳.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

معروفی، صفر؛ موسوی، رویا سادات؛ نصیری قیداری، امید. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات مکانی و زمانی نیاز آبی دشت قزوین با به‌کارگیری الگوریتم متریک و تصاویر ماهواره لندست، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*، ۳۲ (۲): ۸۰-۹۲. doi: 10.18869/acadpub.geores.32.2.80

معصوم‌پور سماکوش، جعفر؛ رجایی، سعید؛ یگانه‌فر، مریم. (۱۳۹۳). تغییرپذیری زمانی- مکانی و روند تبخیر و تعرق گیاه مرجع در ایران، *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۴ (۳۴): ۷-۲۵.

موحددانش، علی‌اصغر. (۱۳۷۳). هیدرولوژی آب‌های سطحی ایران، تهران، انتشارات سمت، چاپ اول، ۳۸۴ صفحه.

نوری، حمید؛ فرامرزی، محمد. (۱۳۹۶). بررسی تبخیر و تعرق واقعی در کاربردهای مختلف اراضی مناطق کوهستانی با استفاده از الگوریتم سبال و ترکیب تصاویر ماهواره‌ای MODIS و Landsat 8، *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۲۸ (۲): ۳۹-۵۶. Doi: 10.22108/gep.2017.97932.0

نیکبخت، جعفر؛ میرلطیفی، سید مجید. (۱۳۸۱). تأثیر روش محاسبه ETo، احتمال وقوع و طول دوره حداکثر مصرف آب بر تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه مرجع، *مجله علوم خاک و آب*، ۱۶ (۲): ۲۲۳-۲۳۱.

ولیزاده کامران، خلیل. (۱۳۹۳). برآورد تبخیر-تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استفنز با استفاده از GIS، *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۸ (۴۹): ۳۱۷-۳۳۴.

Chahine, M. T. (1992), the hydrological cycle and its influence on climate. Nature Publishing Group 359: 373-379. https://doi.org/10.1038/359373a0

Compana, M.E., Vaner, B. B., Lee, B. S., (2012), Hydrostrategy, Hydropolitics, and Security in the Kura-Araks Basin of the South Caucasus. Journal of Contemporary Water Research & Education. Issue 149: 22-32. https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2012.03124.x

Ek, M, B., Mitchell, K. E., Lin, Y., Rogers, E., Grunmann, P., Koren, V., Gayno, G., Tarpley, J. D., (2003), Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. Geophysical Research Atmospheres. 108, 8851, https://doi.org/10.1029/2002JD003296

Elnmer, A., Khadr, M., Kanae, S. and Tawfik, A., (2019), Mapping daily and seasonally evapotranspiration using remote sensing techniques over the Nile delta. Agricultural Water Management, 213, 682-692. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.11.009

Funk, C., shukla, S., Thiaw, W. M., Rowland, J., Hoell, A., Mcnally, A., Husak, G., Novella, N., Budde, M., Peters-lidard, C., Adoum, A., Galu, G., Korecha, D., MaGadzire, T., RadriGuez, M., RoBJ hon, M., Bekele, E., Aresenault, K., PeTerrson, P., Harrison, L., FuhrMan, S., DavenPort, F., LandsFeld, M., Pedreros, D., Jacobs, JP., Reynolds, C., Beckerreshef, I and Verdin, J., (2019), Recognizing the Famine Early Warning Systems Network Over 30 Years of Drought Early Warning Science Advances and Partnerships Promoting Global Food Security. American Meteorological Society, 100 (6), 1011–1027. DOI: https://doi.org/10.1175/BAMS-D-17-0233.1

Funk, C., Verdin, A., Michaelsen, J., Peterson, P., Pedreros, D., and Husak, G. (2015), a global satellite-assisted precipitation climatology. Earth Systems Science Data 7: 275–287. https://doi.org/10.5194/essdd-8-401-2015

Garald. G. Parker., G. E. Ferguson., S. K. Love., (2010), Water resources of southeastern Florida, with special reference to geology and ground water of the Miami area. Water Supply, 1255, https://doi.org/10.3133/wsp1255

Hall, B., Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System (LDAS) and Other Assimilated Hydrological Data at NASA GES DISC. Boston Convention and Exhibition Center. Poster # 1106. January 15, 2020.

Harrison, L.S., (2014), Impacts of Climate Variability on Surface Energy and Water Budgets in sub-Saharan Africa. PH.D. dissertation in Geography. University of California.

http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni

https://nasaharvest.org/project/famine-early-warning-system-network-fews-net-land-data-assimilation-system-ldas

Lopez-Urrea R., Martín de Senta Olalla, F., Fabeiro, C., Moratalla, A., (2006), Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. Agricultural Water Management, 85: 15-26. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2006.03.014

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]

Ma, Z., Yan, N., Wu, B., Stein, A., Zhu, W., Zeng, H. (2019). Variation in actual evapotranspiration following changes in climate and vegetation cover during an ecological restoration period (2000-2015) in the Loess Plateau, China. Sci Total Environ. 2019 Nov 1; 689: 534-545. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.06.155. Epub 2019 Jun 12. PMID: 31279200.

McNally, A., Arsenault, K., Kumar, S., Shukla, S., Peterson, P., Wang, S., Funk, C., Peters-Lidard, C.D., & Verdin, J. P. (2017a), Data Descriptor: A land data assimilation system for sub-Sahran Africa food and water security applications. Scientific Data, 4: 170012. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.12

McNally, A., Harrison, L., Shukla, S., Pricope, N. G., Peters-Lidard, C. D., (2017b), Hydrologic modeling for monitoring water availability in Eastern and Southern Africa. American Geophysical Union, Fall Meeting 2017, abstract #IN51F-0064.

McNally. Amy, NASA/GSFC/HSL., (2018), FLDAS Noah Land Surface Model L4 Global Monthly 0.1 x 0.1 degree (MERRA-2 and CHIRPS), Greenbelt, MD, USA, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [2021-01-01], doi: 10.5067/5NHC22T9375G

Pervez, M. S., McNally, A., Shukla, S., (2016), Evaluation of Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System (FLDAS) and application in East Africa. American Geophysical Union, Fall Meeting 2016, abstract #H51I-1639.

Peshawa, Mustafa N, Simulating River runoff and terrestrial water storage variability in data-scarce semi-arid catchments using remote sensing. PHD dissertation in School of Geography, Geology, and the Environment. University of Leicester. (2017).

Pilgrim, D. H., Chapman, TG and Doran, D. G., (1988), Problems of rainfall-runoff modelling in arid and semiarid regions. Hydrological Sciences Journal 33: 379-400. https://doi.org/10.1080/02626668809491261

Policelli, F., Hubbard, A., ChulJung, H., Zaitchik, B., Ichoku, C., (2019), A predictive model for Lake Chad total surface water area using remotely sensed and modeled hydrological and meteorological parameters and multivariate regression analysis. Journal of Hydrology. 568: 1071-1080. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.11.037

Policelli, F.S, Lake Chad: recent dry season area changes, near term dry season area projections, and dry season area projections through the year 2100. Ph.D. dissertation. Johns Hopkins University. Baltimore, Maryland. (2018).

Rui, H., McNally, A., (2017), README Document for Famine Early Warning Systems Network (FEWS NET) Land Data Assimilation System (FLDAS) Products. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) http://disc.gsfc.nasa.gov. NASA Goddard Space Flight Center. Code 610.2. Greenbelt, MD 20771 USA. Last Revised November 18, 2020

Stan. F-I., Neculau, G., Zaharia, L., Ioana-Toroimac, G., Mihalache, S., (2016), Study on the evaporation and evapotranspiration measured on the Caldaruşani Lake (Romania), Procedia Environmental Sciences. 32: 281 – 289. http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.03

Zhao L, Xia, J., Xu, C-y., (2013), Evapotranspiration estimation methods in hydrological models, Journal of Geographical Sciences. 23: 359-369. DOI: 10.1007/s11442-013-1015-9

Zonghan, M., Yan, N., Wu, B., Stein, A., Zeng, H., (2019), Variation in actual evapotranspiration following changes in climate and vegetation cover during an ecological restoration period (2000–2015) in the Loess Plateau, China. Science of the Total Environment. 689: 534-545. Doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.155 .

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOI: 10.61186/jgs.24.74.17]