



Estimating irrigation water in irrigation networks using satellite images

Kazem Shahverdi¹ | Hesam Ghodousi^{2✉} | Javad Asadi³ | Hassan Ojaghloou⁴

1. Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran. E-mail: k.shahverdi@basu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: Ghodousi@znu.ac.ir
3. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: j.asadi@alumni.znu.ac.ir
4. Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: ojaghloou@znu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 9 September 2023

Received in revised form

11 November 2023

Accepted 17 November 2023

Published online 14 March 2024

Keywords:

GLDAS

Optimal Operation

Performance Evaluation

Water Requirement

ABSTRACT

Water is one of the most important resources needed by human society and the first and most important factor for the production of agricultural products, more than 90% of this vital liquid is consumed in this sector. One of the most important factors that affect the performance of a water conveyance and distribution network is the water distribution and delivery program. In order to obtain turnouts' discharges, the water requirement of the eastern Aghili area was estimated using the Global Land Data Assimilation System (GLDAS) and controlled using the results of the NETWAT model. For this purpose, three-hour evapotranspiration was estimated with GLDAS, and the six-hour discharges of turnouts were calculated according to the cultivated area of each turnout and irrigation efficiency. The hydraulics of the eastern Aghili canal were simulated using the above-mentioned data for six hours. The results showed the appropriate accuracy of GLDAS so that at a maximum of 12.7%, GLDAS underestimated the evapotranspiration values compared to NETWAT. The minimum values of efficiency and adequacy indicators of 0.95 and 0.94, respectively, were obtained, which are in the "good" performance class.

Cite this article: Shahverdi, K., Ghodousi, H., Asadi, J., & Ojaghloou, H. (2024). Estimating irrigation water in irrigation networks using satellite images. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (1), 157-167.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.364899.1103>



© The Author(s).

Publisher: The University of Tehran Press.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.364899.1103>



برآورد آب آبیاری در شبکه‌های آبیاری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

کاظم شاهوردی^۱ | حسام قدوسی^۲ | جواد اسدی^۳ | حسن اوجاقلو^۴

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. رایانامه: k.shahverdi@basu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: Ghodousi@znu.ac.ir
۳. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: j.asadi@alumni.znu.ac.ir
۴. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: oajaghlou@znu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۲۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۴

کلیدواژه‌ها:

ارزیابی عملکرد

بهره‌برداری بهینه

نیاز آبی

مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های

زمینی

آب یکی از مهم‌ترین منابع موردنیاز جامعه بشری و اولین و اساسی‌ترین عامل برای تولید محصولات کشاورزی است که بیش از ۹۰ درصد از این مایع حیاتی در این بخش مصرف می‌شود. از مهم‌ترین عواملی که عملکرد یک شبکه انتقال و توزیع آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد، برنامه توزیع و تحویل آب می‌باشد. برای به‌دست‌آوردن دبی در آبیگرها، نیاز آبی منطقه عقیلی شرقی با استفاده از مدل همسان‌سازی داده‌های زمینی برآورد شد و با داده‌های زمینی، نتایج مدل NETWAT به‌عنوان سند ملی گیاهان زراعی و باغی، کنترل شد. برای این منظور، تبخیروتعرق سه با مدل همسان‌سازی داده‌های زمینی برآورد شد و دبی‌های شش ساعته در هر آبیگر با توجه به مساحت زیر کشت هر آبیگر و راندمان آبیاری محاسبه شد. هیدرولیک کانال عقیلی شرقی با استفاده از داده‌های مذکور، به‌صورت شش ساعته شبیه‌سازی شد. نتایج بیانگر دقت مناسب مدل همسان‌سازی داده‌های زمینی می‌باشد به طوری‌که حداکثر ۱۲/۷ درصد مدل همسان‌سازی داده‌های زمینی مقادیر تبخیروتعرق را کم‌تر از NETWAT برآورد نموده است. نتایج شاخص‌های بهره‌برداری راندمان و کفایت نیز نشان داد که حداقل مقدار راندمان و کفایت به‌ترتیب برابر با ۰/۹۵ و ۰/۹۴ (به‌جز در بازه هشت) می‌باشد که در کلاس عملکردی "خوب" قرار می‌گیرند.

استناد: شاهوردی، کاظم؛ قدوسی، حسام؛ اسدی، جواد و اوجاقلو، حسن (۱۴۰۳). برآورد آب آبیاری در شبکه‌های آبیاری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای.

نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۴ (۱)، ۱۵۷-۱۶۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.364899.1103>



۱. مقدمه

برای تحویل و توزیع آب در شبکه‌های آبیاری، که در پژوهش‌های مختلف بررسی شده است، عمده تمرکز پژوهش‌گران بر روی میزان و زمان تنظیم سازه‌هاست تا دبی موردنظر به آبیگرها تحویل داده شود. برای این منظور الگوریتم‌های فراابتکاری مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Fatemeh *et al.*, 2020; Shahverdi and Maestre, 2022). استفاده از روش‌های هوش مصنوعی نیز در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است (Savari *et al.*, 2016; Shahverdi *et al.*, 2016; Shahverdi *et al.*, 2020; Shahverdi *et al.*, 2022). هم‌چنین روش‌های کنترلی مانند کنترل کلاسیک و کنترل پیش‌بین مورد توجه زیادی قرار گرفته است (Barkhordari and Shahdany, 2021; Khaeez and Shahdany, 2021). بررسی پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که در عمده مطالعات، تمرکز اصلی بر روی بهینه‌سازی تحویل و توزیع آب با توجه به درخواست‌های انجام‌شده توسط کشاورزان می‌باشد. این در حالیست که نیاز آبی واقعی و تبخیر و تعرق مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر عملکرد شبکه آبیاری و تحویل و توزیع آب است که کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است.

برآورد تبخیر و تعرق نیز مشکلاتی به همراه دارد زیرا در بسیاری از مناطق جهان به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، دسترسی به داده‌هایی مانند بارش و تبخیر و تعرق همواره با مشکلات متعددی همراه می‌باشد. تراکم پایین ایستگاه‌های هواشناسی به دلیل محدودیت‌های اقتصادی و جغرافیایی، استفاده از داده‌های این ایستگاه‌ها را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با محدودیت مواجه کرده است (Gairola *et al.*, 2015; Mishra *et al.*, 2011). وجود داده‌های گم‌شده در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی نیز، یکی دیگر از مشکلات اساسی است. از این‌رو، در بسیاری از مطالعات انجام‌شده در چین مناطقی، متغیرهای اقلیمی و زمینی با استفاده از ایستگاه‌های مجاور که ممکن است با نقطه مورد نظر فاصله زیادی داشته باشد، بازسازی می‌شوند که طبیعتاً با واقعیت متفاوت است (Wagner *et al.*, 2012).

داده‌های حاصل از اندازه‌گیری دورسنجی و مدل‌سازی، جایگزین مناسب برای داده‌های زمینی هستند، چرا که با پیشرفت‌های به‌دست‌آمده در زمینه‌های فناوری ماهواره‌ها، سنسور از دور، رایانه و بانک اطلاعاتی، نسل جدیدی از داده‌های هواشناسی به‌دست‌آمده است که برخی از مشکلات موجود در داده‌های مشاهداتی مانند عدم دسترسی آسان به داده‌ها، هزینه خرید داده‌ها، وجود داده‌های گم‌شده و پراکنش نامناسب ایستگاه‌ها را ندارد. امروزه مراکز پیش‌بینی و مدل‌سازی، حجم قابل‌توجهی از داده‌های اتمسفر-زمین را در مقیاس جهانی و منطقه‌ای با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت در اختیار کاربران قرار داده است (Kim and Brubaker, 2014).

در سال‌های اخیر مدل‌های متعددی جهت برآورد تبخیر و تعرق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ارائه شده است. یکی از این مدل‌ها، جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی (GLDAS)^۱ است. پوشش جهانی، قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا به همراه سیستم مدل‌سازی ترکیبی داده‌های سنسور از دوری و مشاهدات زمینی از ویژگی‌های منحصربه‌فرد این مدل است. دو و سان (۲۰۱۲) با استفاده از داده‌های سنسور مادیس و داده‌های GLDAS مقدار تبخیر و تعرق را برای منطقه رودخانه تکیسی واقع در شمال غرب چین برآورد کردند. نتایج بیانگر ارتباط مناسب بین داده‌های تبخیر و تعرق GLDAS و داده‌های مشاهده‌ای در حوضه رودخانه تکیسی است.

تغییرات رطوبت خاک در عمق‌های مختلف با استفاده از GLDAS در استان کرمانشاه بررسی شد و نتایج مؤید این موضوع بود که داده‌های مدل GLDAS می‌تواند برای بازتولید داده‌های رطوبت خاک با دقت قابل‌قبولی مورد استفاده قرار گیرد (Amini *et al.*, 2023). نتایج مقایسه دو مدل GLDAS2.0 و GLDAS2.1 نشان داد که مدل GLDAS2.0 در ارتباط با داده‌های دما، تبخیر و بارش دقت بالاتری دارد (Faraji and Kaviani, 2019). در پژوهشی، مدل GLDAS برای دو منطقه آب‌وهوایی مرطوب و خشک در ایران برای برآورد تبخیر و تعرق

مورد استفاده قرار گرفت که نتایج نشانگر این است که مدل GLDAS برای مناطق خشک نتایج بهتری نسبت به مناطق مرطوب ارائه می‌دهد (Moshir Panahi *et al.*, 2021).

همان‌طور که اشاره شد عدم وجود داده‌های معتبر جهت برآورد تبخیر و تعرق و در نتیجه دبی آبیاریها یکی از مشکلات اساسی در شبکه‌های آبیاری به‌ویژه شبکه‌های آبیاری قدیمی است. با توسعه تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد موفق آن‌ها تبخیر و تعرق را در شبکه‌های آبیاری و دبی تحویلی به آبیاریها را می‌توان برآورد نمود. در این پژوهش، با استفاده از مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی تبخیر و تعرق در منطقه عقیلی در شمال خوزستان برآورد شد و سپس دبی‌های مورد نیاز آبیاریها در کانال عقیلی شرقی برآورد شد و نتایج حاصل با شاخص‌های استاندارد مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه عقیلی به مساحت ۲۹۴۰۰ هکتار در شمال استان خوزستان قرار گرفته که از شمال به رشته کوه‌های زاگرس جنوبی و رودخانه کارون و از مشرق به شهرستان مسجد سلیمان، از جنوب رودخانه کارون و شهرستان شوشتر و از غرب به رودخانه کارون و شهرستان گتوند محدود است که در مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی قرار دارد. شبکه آبیاری عقیلی که در شبکه گتوند در استان خوزستان واقع شده است، متشکل از کانال اصلی عقیلی و دو کانال درجه یک به نام‌های عقیلی شرقی و عقیلی غربی می‌باشد. کانال اصلی با ظرفیت ۱۲ مترمکعب در ثانیه از سد تنظیمی انحرافی گتوند آبیاری نموده و در ۹۰۰ + ۱ کیلومتر دو کانال عقیلی شرقی و عقیلی غربی به ترتیب با حداکثر ظرفیت پنج و هفت مترمکعب در ثانیه از آن منشعب می‌شوند. سازه‌های آب بند بیش‌تر به صورت دریاچه‌های قطاعی و سازه‌های آبیگر به صورت دریاچه‌های کشویی می‌باشند که به صورت دستی بهره‌برداری می‌شوند.

کانال عقیلی شرقی به صورت بتنی با مقطع ذوزنقه‌ای با شیب جانبی ۱:۱ ساخته شده است. طول این کانال ۱۶/۲۱۵ کیلومتر بوده که از کیلومتر صفر تا ۹/۴۸۵ دارای عرض کف ۱/۵ متر و از کیلومتر ۹/۴۸۵ تا انتهای کانال دارای عرض ۱ متر می‌باشد. شیب طولی کانال بین ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۱ در طول کانال متغیر می‌باشد. این کانال دارای ۲۰ سازه آبیگر، ۱۱ سازه تنظیم‌کننده و چهار سیفون می‌باشد. در شکل (۱)، شماتیک کانال عقیلی شرقی نشان داده شده است. در این پژوهش، نیاز آبی سطح زیرکشت در شبکه آبیاری عقیلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برآورد می‌گردد و سپس، آب مورد نیاز اراضی پایین دست هر آبیگر برآورد می‌شود.



Figure 1. East Aghili canal

۲.۲. مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی (GLDAS)

مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی GLDAS از جمله پایگاه داده‌هایی است که با استفاده از روش‌های ترکیبی مدل‌سازی و استفاده از داده‌های سنجش از دور، مشاهدات ایستگاهی و میدانی اقدام به ارائه داده‌ها با دقت مکانی مناسب برای کل کره زمین می‌کند. پوشش جهانی (60° – 90° شمالی و 180° – 180° شرقی)، قدرت تفکیک مکانی (0.25° ، 0.12° و 1°) و زمانی (سه‌ساعته و ماهانه از ۱ فوریه ۱۹۷۹ برای GLDAS 2.0 و از ۲۴ فوریه ۲۰۰۰ برای GLDAS 2.1) بالا به همراه سیستم مدل‌سازی ترکیب داده‌های سنجش از دور و مشاهدات زمینی، ویژگی منحصر به فرد این مدل است (Liu *et al.*, 2009). این مدل با هدف ادغام محصولات ماهواره‌ای و مشاهدات زمینی با استفاده از مدل‌سازی و تکنیک‌های پیشرفته همسان‌سازی به منظور برآوردهای مطلوب از شار سطح زمین و منابع آب و انرژی توسط سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)، مرکز پرواز هوایی گودارد (GSFC)، سازمان ملی اقیانوس‌شناسی و جوی (NOAA) و مرکز ملی پیش‌بینی محیط (NCEP) طراحی شده است (Zaitchik *et al.*, 2010). در حال حاضر داده‌های این سیستم جهانی در دو نسخه 0.25° و 1° با طول دوره آماری ۱۹۴۸–۲۰۱۰ و ۲۰۰۰–۲۰۱۵ در دسترس می‌باشد که از چهار مدل سطحی CLM، NOAH، Mosaic و VIC حاصل می‌شود (جدول ۱).

Table 1. Basic characteristic of the GLDAS data (Fang *et al.*, 2009)

Content	Water and energy budget component
Latitude extent	-60° to 90° N
Longitude extent	-180° to 180° E
Spatial resolution	1.0° , 0.25° , 0.12°
Temporal resolution	3-hourly or monthly
Temporal coverage	January 1, 1979 to present for the 1.0° data (GLDAS 2.0) February 24, 2000 to present for the 0.25° data (GLDAS 2.1)
Dimension	360 (lon) x 150 (lat) for the 1.0° data 1440 (lon) x 600 (lat) for the 0.25° data
Origin (1st grid center)	(179.5W, 59.5S) for the 1.0° data (179.875W, 59.875S) for the 0.25° data
Land surface models	CLM 2.0 (1.0°) MOSAIC (1.0°) NOAH 2.7.1 (1.0°) VIC water balance (1.0°) NOAH 2.7.1 (0.25°)

داده‌هایی که به‌عنوان ورودی در این مدل مورد استفاده قرار می‌گیرند، در برگزیده دو دسته کلی اطلاعات هواشناسی و شرایط سطح زمین می‌باشد. که از مراکز و تارنماهای HDISE و Giovanni در فرمت‌های مختلف با قدرت تفکیک مکانی و زمانی متفاوت قابل دریافت می‌باشد (Fang *et al.*, 2009). این مدل، با هدف بررسی روند تغییرات اجزای بیابان آب و انرژی در سطح زمین، با استفاده از تلفیق مدل‌های سطح زمین و به‌روزرسانی این مدل‌ها با مشاهدات ماهواره‌ای و زمینی اقدام به تولید پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی از قبیل دمای هوا در ارتفاع دو متری و سطح زمین، بارش، سطح برف و آب معادل ذوب برف، رطوبت خاک در عمق‌های سطحی و زیرسطحی، رواناب سطحی، شارهای حرارتی، تابش خالص زمینی و خورشیدی و تبخیر با کیفیت کنترل‌شده و سازگاری زمانی و مکانی با قدرت تفکیک مکانی 25 کیلومتر و گام زمانی سه‌ساعته و یک ماهه و از سال ۱۹۷۹ تا حال حاضر را پوشش می‌دهد.

در این پژوهش، متوسط تبخیر تعرق سه‌ساعته GLDAS با قدرت تفکیک مکانی 0.25° × 0.25° درجه، با مدل سطحی NOAH با تارنمای Giovanni، با آدرس <https://giovanni.gsfc.nasa.gov>، برای کل ایران برآورد شد. در شکل (۲)، نحوه استخراج داده مذکور نشان داده شده است. پس از استخراج داده‌ها، مقدار تبخیر و تعرق در منطقه عقیلی استخراج شد. لازم به ذکر است که واحد متوسط تبخیر و تعرق بر حسب کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه می‌باشد. هر کیلوگرم بر مترمربع آب

برابر با یک میلی‌متر آب و هر روز ۸۶۴۰۰ ثانیه است. با استفاده از تبدیل‌های ذکر شده، کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه به میلی‌متر بر روز تبدیل شد.

The screenshot shows the GIOVANNI web interface. The 'Select Variables' section is active, displaying a list of variables and a table of selected variables. The table columns are Variable, Units, Source, Temp. Res., Spat. Res., Begin Date, and End Date. The selected variables are:

Variable	Units	Source	Temp. Res.	Spat. Res.	Begin Date	End Date
Evapotranspiration (GLDAS_NOAH125_3H_V2.1)	kg m-2 d-1	GLDAS Model	3-hourly	0.25°	1948-01-01	2010-12-31
Climatology (1982-2016) of Total evapotranspiration (FLDAS_NOAH1_C_EA_MC v091)	kg m-2 d-1	FLDAS Model	Monthly	0.1°	1982-01-01	2010-12-31
Total evapotranspiration (FLDAS_NOAH1_A_EA_D_v091)	kg m-2 d-1	FLDAS Model	Daily	0.1°	2001-01-02	2010-07-08
Evapotranspiration (GLDAS_NOAH125_3H_V2.1)	kg m-2 d-1	GLDAS Model	3-hourly	0.25°	2000-01-01	2010-05-31
Evapotranspiration Total (NLDAS_NOAH125_Hv002)	kgm ²	NLDAS Model	Hourly	0.125°	1979-01-02	2010-07-06

Figure 2. Providing data from GLDAS

۳.۲ مدل NETWAT

جهت ارزیابی دقت مدل GLDAS، از داده‌های مدل NETWAT استفاده شد. مدل NETWAT که به‌عنوان سند ملی آب نیز معروف است جهت برآورد نیاز آبی گیاهان باغی و زراعی در ایران استفاده می‌شود. آمار و اطلاعات موجود در این نرم‌افزار بسیار کاربردی است و در مطالعات بسیاری از طرح‌های آبیاری، سد سازی، زه‌کشی و پروژه‌های مرتبط با مهندسی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس روش محاسباتی این مدل، استفاده از روش پنمن - مانیتث فائو می باشد. به‌منظور مقایسه داده‌های حاصل از ماهواره با داده‌های زمینی در این پژوهش، با استفاده از مدل NETWAT میزان نیاز خالص آبیاری شبکه عقیلی برای سال ۲۰۱۱ تعیین گردید و با توجه به میزان مساحت کشت‌شده هر محصول در منطقه و درصد کشت هر محصول مقدار نیاز آبی محاسبه شد (جدول ۲).

Table 2. Cultivation area, crop pattern, and ETc according to NETWAT

	Beans	Onion	Subsurface	Potato	Turnip	Wheat	Carrot	Cabbage	Alfalfa	Beet	Clover	Barely	Maize	Sum
Cultivation area (ha)	42	25	60	144	28	733	33	85	100	2	0	14	10	1277
Crop pattern (%)	3.3	1.9	4.7	11.3	2.2	57.4	2.6	6.7	7.9	0.2	0.0	1.1	0.8	100
Net irrigation requirement (mm)	62	430	129	300	62	180	62	62	1310	300	675	190	100	3862
ETc (mm)	2.1	8.3	6.1	33.8	1.3	103.3	1.6	4.1	102.9	0.5	0.2	2	0.8	267.1

۴.۲. شبیه‌سازی کانال و ارزیابی

برای شبیه‌سازی کانال از مدل هیدرودینامیکی ICSS استفاده شد و دریچه‌های آب‌بند و آبیگر جهت محاسبات در آن تعریف شد. دبی‌های تحویلی به آبیگرها با استفاده از نتایج مدل GLDAS محاسبه شد. برای این منظور، نیاز آبی با استفاده از تبخیر و تعرق به دست آمده با استفاده از مدل جهانی همسان‌سازی زمینی تعیین گردید. سپس، با توجه به میزان تبخیر و تعرق، مساحت اراضی پایین دست هر آبیگر و راندمان کل ۳۶ درصد برای شبکه‌های آبیاری از جمله شبکه آبیاری عقیلی (Nazari *et al.*, 2018)، مقادیر دبی مورد نیاز هر آبیگر تخمین زده شد. زمان انجام بهره‌برداری و شبیه‌سازی برابر با شش ساعت در نظر گرفته شد که امکان ارزیابی تحویل دبی در زمان‌های کم‌تر از ۲۴ ساعت را فراهم می‌کند. برای ارزیابی عملکرد توزیع و تحویل آب از شاخص‌های کفایت (Adequacy) و راندمان (Efficiency) تحویل آب استفاده شد (Molden and Gates, 1990). شاخص‌های کفایت و راندمان به ترتیب به صورت روابط (۱) و (۲) تعریف می‌شوند:

$$Adequacy = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{M} \sum_M (PA), \quad \begin{cases} PA = \frac{QD}{QR} & \text{IF } QR > QD \\ PA = 1 & \text{IF } 1 < \frac{QD}{QR} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$Efficiency = \frac{1}{N} \sum_N \frac{1}{M} \sum_M (PE), \quad \begin{cases} PE = \frac{QR}{QD} & \text{IF } QR < QD \\ PE = 1 & \text{IF } \frac{QR}{QD} > 1 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در روابط فوق، M تعداد آبیگرها، QR دبی مورد نیاز یا دبی درخواست شده در آبیگر M ، QD دبی واقعی تحویل شده به آبیگر M و N تعداد گام‌های زمانی در یک دوره تحویل است. مقدار ایده‌آل آن‌ها برابر با یک است و هر چقدر از یک کوچک‌تر شود، عملکرد ضعیف‌تر خواهد شد.

۳. نتایج

در این پژوهش، نیاز آبی شبکه عقیلی با استفاده از مدل GLDAS برآورد شد و سپس مقدار دبی مورد نیاز در پایین دست هر آبیگر در کانال عقیلی شرقی محاسبه شد. با شبیه‌سازی جریان در کانال با مدل ICSS، پارامترهای جریان تعیین گردید و در نهایت شاخص‌های عدالت و راندمان محاسبه شد. در شکل (۳)، تبخیر و تعرق سه ساعته برآورد شده با مدل GLDAS برحسب کیلوگرم بر مترمربع بر ثانیه نشان داده شده است که نشان می‌دهد در بخش‌های جنوبی استان خوزستان، مقدار تبخیر و تعرق زیاد و در بخش‌های شمالی آن کم‌تر از بخش‌های جنوبی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در برخی از استان‌های مرکزی و جنوبی کشور مانند کرمان و یزد نیز مقدار تبخیر و تعرق در مقایسه با سایر نقاط کشور، زیاد است. مقدار تبخیر و تعرق روزانه در سال مذکور در شکل (۴) ارائه شده است. برای بررسی مقدار تبخیر و تعرق به صورت جزئی‌تر و مقایسه با داده‌های موجود، میزان تبخیر و تعرق سه ساعته به دست آمده در منطقه عقیلی با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 در سال ۲۰۱۱ با GLDAS در شکل (۵) ارائه شده است. در بهره‌برداری مرسوم در شبکه‌های آبیاری، تحویل جریان به صورت ۲۴ ساعته انجام می‌شود. با داشتن تبخیر و تعرق سه ساعته، می‌توان برای بهره‌برداری‌های سه ساعته، شش ساعته و ۱۲ ساعته اقدام نمود. نتایج برآورد تبخیر و تعرق سه ساعته نشان داد که بیش‌ترین مقدار آن از ساعت ۰ تا صبح تا سه بعد از ظهر اتفاق می‌افتد و در زمان شب حداقل مقدار می‌باشد. توجه به این موضوع در زمان آبیاری می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

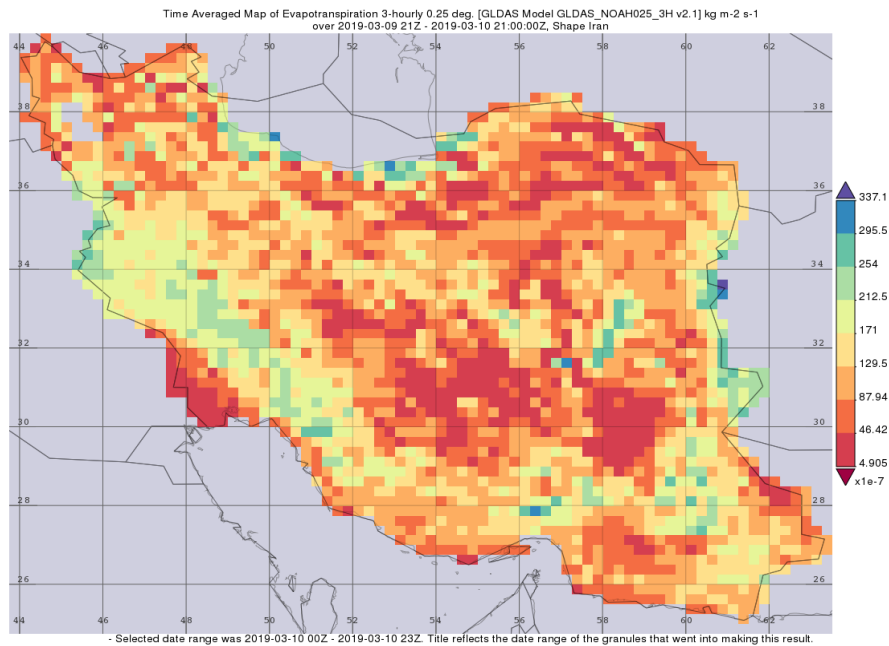


Figure 3. Estimated three-hourly evapotranspiration using GLDAS ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)

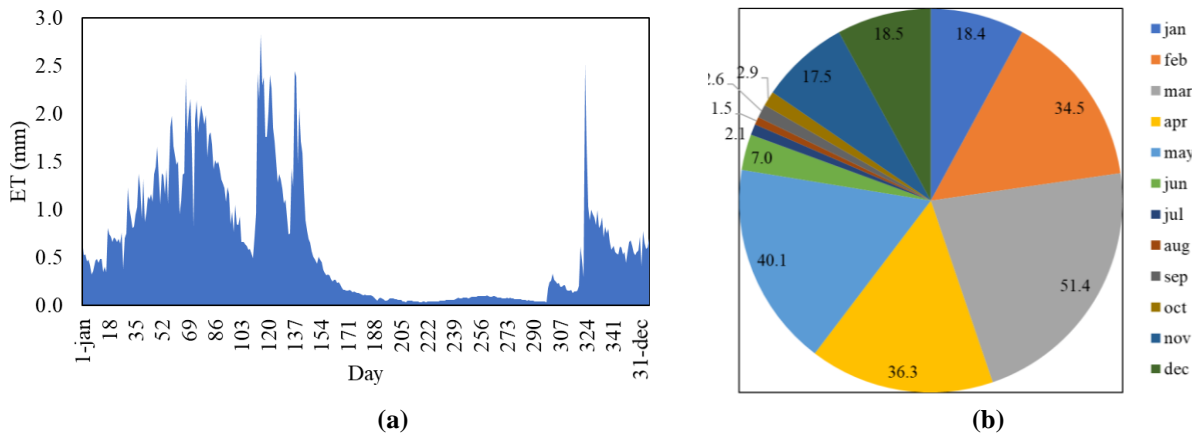


Figure 4. Evapotranspiration a) daily and b) monthly in the Aghili region in 2011 using GLDAS using GLDAS (mm)

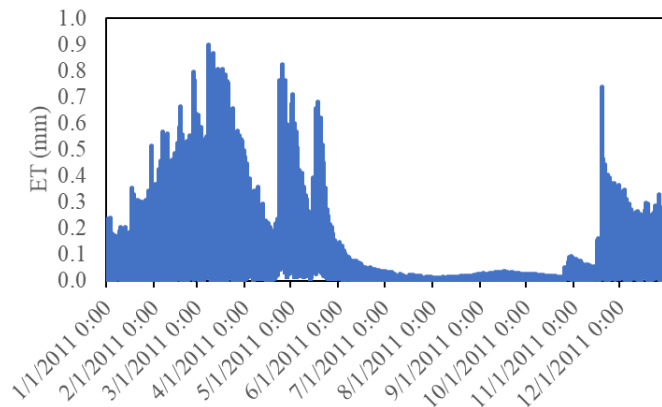


Figure 5. Estimated evapotranspiration in the Aghili region in 2011 using GLDAS using GLDAS (mm)

با توجه به جدول (۲)، مقدار تبخیر و تعرق سال ۲۰۱۱ با استفاده از NETWAT برای الگوی کشت ارائه شده، برابر با ۲۶۷/۱ میلی‌متر به دست آمده است. با توجه به نتایج از مدل GLDAS، مقدار تبخیر و تعرق سال ۲۰۱۱ برابر با ۲۳۳/۰۴ میلی‌متر برآورد شده است که ۳۴/۰۶ میلی‌متر در سال کمتر از NETWAT می‌باشد. به عبارت دیگر، مقدار تبخیر و تعرق سالانه را ۱۲/۷ درصد کمتر از NETWAT برآورد نموده است. حداکثر مقدار روزانه تبخیر و تعرق برابر با ۲/۸ میلی‌متر و حداکثر مقدار ماهانه مربوط به تبخیر و تعرق برابر با ۵۱/۴ میلی‌متر در ماه (در ماه مارس) به دست آمده است. ذکر این نکته ضروری است که با توجه به دمای زیاد هوا، در تابستان در منطقه مورد مطالعه کشت وجود ندارد، به همین دلیل مقدار تبخیر و تعرق تقریباً برابر با صفر می‌باشد.

همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، حداکثر مقدار تبخیر و تعرق سه ساعته برابر با ۰/۸۹ میلی‌متر در سه ساعت است. با توجه به میزان تبخیر و تعرق به دست آمده با مدل همسان‌سازی داده‌های زمینی و راندمان بهره‌برداری ۳۶ درصد در شبکه آبیاری عقیلی، دبی ورودی به کانال در بهره‌برداری دستی در حالت شش ساعته در روز ۱۸ اسفندماه برابر با ۲/۴۴ مترمکعب بر ثانیه و برای روز ۱۹ اسفندماه برابر ۲/۷۳ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. همچنین، دبی آبیگرها در روز ۱۹ اسفندماه با توجه به نتایج تبخیر و تعرق سه ساعته مدل GLDAS در شکل (۶) ارائه شده است. حداقل مقدار دبی برابر با ۳۱ لیتر بر ثانیه در آبیگر ۱۹ و حداکثر مقدار آن برابر با ۲۱۶ لیتر بر ثانیه در آبیگر ۲۰ به دست آمده است که با توجه به مساحت زیر کشت آن‌ها، مقادیر منطقی و قابل قبول می‌باشند. عمده آبیگرها نیز دبی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ لیتر بر ثانیه دارند. لازم به ذکر است که این دبی‌ها به مدت شش ساعت به آبیگرها تحویل داده می‌شوند، در صورتی که زمان تحویل را ۱۲ ساعت در نظر بگیریم مقدار این دبی‌ها در نیم ضرب می‌شود و در صورتی که زمان تحویل را ۲۴ ساعت در نظر بگیریم، مقدار این دبی‌ها در یک‌چهارم ضرب می‌شود.

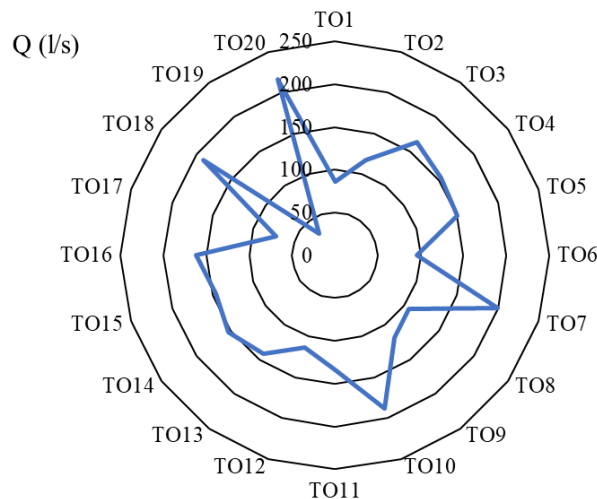


Figure 6. Calculated flows of tunrouns based on the GLDAS's three-hour evapotranspiration (l/s)

مقادیر شاخص‌های راندمان و کفایت آبیاری در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقدار شاخص راندمان در تمام بازه‌ها نزدیک به یک (مقدار ایده‌آل) می‌باشد. کم‌ترین مقدار آن در بازه ۱۰ می‌باشد که برابر با ۰/۹۵ است. با توجه به این که تمام مقادیر راندمان بین ۰/۹-۱ است بنابراین، عملکرد کانال در کلاس "خوب" براساس طبقه‌بندی Molden and Gates (1990) قرار می‌گیرد. بنابراین، مازاد تحویل آب و تلفات آب در کانال در حداقل مقدار خود قرار دارد. در نتیجه، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای منجر به نتایج خوبی در بهره‌برداری از کانال می‌شود. در مورد

شاخص کیفیت نیز، نتایج مشابهی حاصل شده است. غیر از بازه هشت که مقدار کفایت برابر با $0/8$ به دست آمده است، در سایر بازه‌ها مقدار آن بین $0/94$ تا یک است. با توجه به این که در بازه $1-0/85$ براساس طبقه‌بندی Molden and Gates (۱۹۹۰) قرار می‌گیرد، عملکرد کانال در کلاس "خوب" قرار می‌گیرد. بنابراین، آب به صورت کافی در بازه‌ها توزیع شده است و کمبود آب وجود ندارد. در بازه هشت نیز عملکرد در کلاس "مناسب" قرار می‌گیرد.

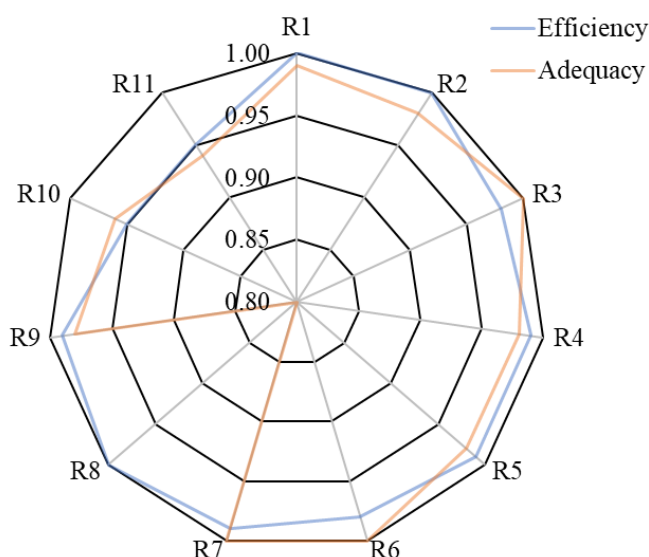


Figure 7. Efficiency and adequacy performance indicators.

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش، از مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی به منظور استخراج تبخیر و تعرق سه‌ساعته در منطقه عقیلی در استان خوزستان استفاده شد. سپس، آب مورد نیاز در آبیاریها با استفاده از الگوی کشت، مساحت زیر کشت هر آبیاری، راندمان آبیاری برای تحویل شش ساعته استخراج گردید. مقایسه نتایج مدل مذکور، با نتایج مدل NETWAT به عنوان سند ملی گیاهان زراعی و آبی، نشان‌گر دقت بالای نتایج مدل جهانی همسان‌سازی داده‌های زمینی در برآورد تبخیر و تعرق می‌باشد. با توجه به امکان برآورد دبی‌ها به صورت شش ساعته، امکان کاهش زمان آبیاری از ۲۴ ساعت به ۱۲، شش و حتی سه ساعت وجود دارد که یک مزیت کاربردی محسوب می‌شود. نتایج برآورد دبی‌ها نیز، مؤید انطباق با واقعیت است. نتایج ارزیابی عملکرد کانال نیز نشان‌گر دقت بالای تحویل آب است، به طوری که کمبود و مازاد تحویل آب حداقل می‌باشد. زیرا شاخص راندمان در تمامی بازه‌ها بالای $0/95$ و شاخص کفایت در تمامی بازه‌ها بالای $0/94$ است.

۵. پی‌نوشت‌ها

1. Global Land Data Assimilation System
2. National Aeronautics and Space Administration
3. Goddard Space Flight Center
4. National Oceanic and Atmospheric Administration
5. National Center for Environmental Prediction

۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

۷. منابع

- Amini, A., Moghadam, M. K., Kolahchi, A. A., Raheli-Namin, M., and Ahmed, K. O. (2023). Evaluation of GLDAS soil moisture product over Kermanshah province, Iran. *H₂ Open Journal*, 6(3), 373-386.
- Barkhordari, S., and Shahdany, S. M. H. (2021). Developing a smart operating system for fairly distribution of irrigation water, based on social, economic, and environmental considerations. *Agricultural Water Management*, 250, 106833.
- Du, J., and Sun, R. (2012). Estimation of evapotranspiration for ungauged areas using MODIS measurements and GLDAS data. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1718-1727.
- Fang, H., Beaudoin, H. K., Teng, W. L., and Vollmer, B. E. (2009). Global Land data assimilation system (GLDAS) products, services and application from NASA hydrology data and information services center (HDISC). ASPRS 2009 Annual Conference,
- faraji, z., and kaviani, a. (2019). Assessment of water balance components of GLDAS-2 and GLDAS-2.1 in Qazvin province. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(2), 462-474. (In persian).
- Fatemeh, O., Hesam, G., and Shahverdi, K. (2020). Comparing Fuzzy SARSA Learning (FSL) and Ant Colony Optimization (ACO) Algorithms in Water Delivery Scheduling under Water Shortage Conditions. *Irrigation and Drainage Engineering*, 146(9), 04020028.
- Gairola, R., Prakash, S., and Pal, P. (2015). Improved rainfall estimation over the Indian monsoon region by synergistic use of Kalpana-1 and rain gauge data. *Atmósfera*, 28(1), 51-61.
- Khaeez, S., and Shahdany, S. M. H. (2021). Non-structural modification of agricultural water distribution systems in large scale irrigation districts. *Computers and Electronics in Agriculture*, 184, 106102.
- Kim, S., and Brubaker, K. L. (2014). Comparison of gauge and MPE precipitation data for the Chesapeake Bay Watershed Model. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(5), 1042-1047.
- Liu, Y. Y., McCabe, M. F., Evans, J., Van Dijk, A., de Jeu, R. A., and Su, H. (2009). Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and satellite observations over the Murray Darling Basin. *Proceedings of the International Congress on Modelling and Simulation*.
- Mishra, A. K., Gairola, R., Varma, A., and Agarwal, V. K. (2011). Improved rainfall estimation over the Indian region using satellite infrared technique. *Advances in space research*, 48(1), 49-55.
- Molden, D. J., and Gates, T. K. (1990). Performance measures for evaluation of irrigation-water-delivery systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 116(6), 804-823.
- Moshir Panahi, D., Sadeghi Tabas, S., Kalantari, Z., Ferreira, C. S. S., and Zahabiyoun, B. (2021). Spatio-temporal assessment of global gridded evapotranspiration datasets across Iran. *Remote Sensing*, 13(9), 1816.
- Nazari, B., Liaghat, A., Akbari, M. R., and Keshavarz, M. (2018). Irrigation water management in Iran: Implications for water use efficiency improvement. *Agricultural Water Management*, 208, 7-18.
- Savari, H., Monem, M., and Shahverdi, K. (2016). Comparing the Performance of FSL and Traditional Operation Methods for On-Request Water Delivery in the Aghili Network, Iran. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(11), 04016055.
- Shahverdi, K., Alamiyan-Harandi, F., and Maestre, J. (2022). Double Q-PI architecture for smart model-free control of canals. *Computers and Electronics in Agriculture*, 197, 106940.
- Shahverdi, K., and Maestre, J. (2022). Gray Wolf Optimization for Scheduling Irrigation Water. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 148(7), 04022020.
- Shahverdi, K., Maestre, J., Alamiyan-Harandi, F., and Tian, X. (2020). Generalizing Fuzzy SARSA Learning for Real-Time Operation of Irrigation Canals. *Water*, 12(9), 2407.
- Shahverdi, K., Monem, M. J., and Nili, M. (2016). Fuzzy SARSA learning of operational instructions to schedule water distribution and delivery. *Irrigation and Drainage*, 65(3), 276-284.
- Wagner, P. D., Fiener, P., Wilken, F., Kumar, S., and Schneider, K. (2012). Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology*, 464, 388-400.
- Zaitchik, B. F., Rodell, M., and Olivera, F. (2010). Evaluation of the Global Land Data Assimilation System using global river discharge data and a source-to-sink routing scheme. *Water Resources Research*, 46(6).