Modares Civil Engineering Journal

Volume 25, Issue 1, 2025, 33-44

DOI: 10.22034/25.1.33

Investigating the Impact of Hydrological Connectivity on Evaporation from Sistan's Chah Nimeh Reservoirs during Different Meteorological Periods

Saeid Maleki[1], Seyed Hossein Mohajeri[2*], Mojtaba Mehraein[2]

1. Graduated Master Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Karaj, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Karaj, Iran.

Abstract

Among the various factors that affect evaporation, both climatic indicators and hydrological indicators, such as the hydrological connectivity of a particular region, play significant roles. With advancements in remote sensing technology, satellite image data can now be utilized to monitor the evaporation of lakes. In this particular research, the focus is on investigating the climatic factors that impact evaporation in the Chaah Nimeh reservoirs situated in the Sistan and Baluchistan province of Iran. Initially, the water surface temperature is estimated using Landsat 8 images through the Split window method. Subsequently, meteorological data, including Net radiation, Wind speed, and Air pressure, are obtained from the nearest meteorological synoptic station in close proximity to the Chaah Nimeh location. These meteorological data, along with the water surface temperature data derived from Landsat 8 images, are then inputted into the PM FAO 56 equation. This formula is recognized as one of the most reliable relationships for calculating lake evaporation. Furthermore, the environmental conditions of the region are examined by assessing the hydrological connectivity. This examination provides insights into the region's conductivity for water and sediment transfer and is determined by indicators such as flow length and topographic wetness index. The values of these indicators are obtained from a Digital elevation model satellite image and processed using image processing software. To estimate the contribution of each environmental element to evaporation values, machine learning methods are employed. The available data is categorized in two ways: one classification is based on the wind of 120 days periods and no wind in the region, while the other classification considers periods of Flood discharge periods or high inflow and Water storage periods or low inflow. By utilizing the available data machine learning techniques can be applied to determine the impact of each environmental element on evaporation. This operation is done with the help of Garson's method, which assigns a percentage value to each parameter based on the weights assigned to each parameter in the neural network, which is known as the percentage of relative importance.The higher the percentage of relative importance, the greater the effect of that measure on evaporation. Results highlight the significant influence of the topographic wetness and flow length indices on evaporation, especially during flood discharge periods where their impact is 5% higher than in water storage periods. Additionally, meteorological indices have a 10% greater effect during windy conditions, with wind speed being notably more influential during the wind of 120 days period. This research underlines the importance of integrating meteorological and hydrological data for comprehensive water resource management and suggests the potential of using similar approaches in other regions and under different climatic conditions, paving the way for future studies in water conservation and management strategies in response to global environmental changes.

Review History

Received: Feb 08, 2024

Revised: Aug 02, 2024

Accepted: Nov 20, 2024

Keywords

Hydrological connectivity

Evaporation

Water surface temperature

Artificial neural network

Relative importance

Wind of 120 days

* Corresponding Author Email: hossein.mohajeri@khu.ac.ir - ORCID: 0000-0002-8056-293X

Copyright © 2025, TMU Press. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0) which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.

مجله علمی مهندسی عمران مدرس

دوره ۲۵، شماره ۱، سال ۱۴۰۴ - صفحات ۳۳ تا ۴۴

DOI: 10.22034/25.1.33

بررسی میزان تأثیر عوامل هواشناسی و پیوستگی هیدرولوژیکی بر تبخیر از مخازن چاه‌نیمه‌های سیستان در دوره‌های هواشناسی مختلف

سعید ملکی[۱]، سیدحسین مهاجری[۲*]، مجتبی مهرآیین[۲]

۱. دانش‌آموخته دوره کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران.

۲. دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران.

چکیده

تبخیر از مخازن می‌تواند به کمک دمای به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های هواشناسی اندازه‌گیری شده زمینی توسط روابط تجربی مشابه روش PM FAO 56 محاسبه شود. همچنین، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می‌توان تاثیر ورودی‌های مختلف را روی یک خروجی مانند تبخیر بررسی نمود. به این منظور، در این تحقیق تاثیر شاخص‌های محیطی مختلف روی تبخیر با برآورد درصد اهمیت نسبی آن‌ها تعیین شده است. دسته اول این معیارها، شاخص‌های هواشناسی منطقه، شامل سرعت باد، فشار هوا، رطوبت نسبی، تابش و دمای سطح آب مخازن است، و دسته دوم شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی را نشان می‌دهد. پیوستگی هیدرولوژیکی به عنوان یکی از عوامل موثر در پدیده‌های هیدرولوژیکی و عناصر چرخه آب به کمک شاخص‌های آن یعنی شاخص طول جریان و شاخص رطوبت توپوگرافیک تعریف و بررسی می‌شود. در این پژوهش، اهمیت نسبی معیارهای هواشناسی و شاخص‌های پیوستگی در تبخیر تخمین زده شده از چاه نیمه‌ها در استان سیستان و بلوچستان در شرایط هواشناسی مختلف، یعنی دوره وزش بادهای ۱۲۰ روزه و دوره عدم وزش آن و هم چنین دوره خشکسالی و ترسالی، برآورد شده است. نتایج نشان دهنده تاثیر بالای شاخص رطوبت توپوگرافیک و شاخص طول جریان بر تبخیر می‌باشد، به شکلی است که در همه شرایط، بیشترین درصد اهمیت نسبی متعلق به این دو شاخص می‌باشد. در بین معیارهای هواشناسی نیز دمای سطح آب بیشتر از سایر معیارها موثرتر می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که تاثیر شاخص‌های پیوستگی روی تبخیر در دوره‌های ترسالی نسبت به دوره‌های خشکسالی ۵٪ بیشتر است و این در حالی است که در دوره وزش باد ۱۲۰ روزه شاخص‌های هواشناسی نسبت به شرایط عدم وزش باد ۱۰٪ تاثیر بیشتری روی تبخیر دارند. به علاوه تاثیر سرعت باد در دوره‌های وزش باد ۱۲۰ روزه ۵٪ بیشتر از دوره‌های عدم وزش آن است.

تاریخچه داوری

دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

بازنگری: ۱۴۰۳/۰۵/۱۲

پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰

کلمات کلیدی

پیوستگی هیدرولوژیکی

تبخیر

دمای سطحی آب

شبکه عصبی مصنوعی

اهمیت نسبی

بادهای ۱۲۰ روزه

۱- مقدمه

تبخیر[1] به عنوان یکی از عناصر اصلی رابطه بیلان آب نقش مهمی را در زندگی مردم ایفا می‌کند، به طوری که بررسی عوامل محیطی و شرایط آب و هوایی موثر بر تبخیر می‌تواند زمینه ساز شناخت و مدیریت بهتر منابع آب شود. در سال‌های آینده، تعداد

[1] Evaporation

* رایانامه نویسنده مسئول: hossein.mohajeri@khu.ac.ir - ORCID: 0000-0002-8056-293X

کپی‌رایت © ۲۰۲۵، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس (TMU Press). این مقاله به‌صورت دسترسی آزاد منتشر شده و تحت مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 قرار دارد (https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0). بر اساس این مجوز، شما می‌توانید این مطلب را در هر قالب و رسانه‌ای کپی، بازنشر و بازآفرینی کنید و یا آن را ویرایش و بازسازی نمایید، به شرط آنکه نام نویسنده را ذکر کرده و از آن برای مقاصد غیرتجاری استفاده کنید.

قابل توجهی از مردم دنیا تحت تاثیر کمبود آب زندگی خواهند کرد، به ویژه در مناطقی که تغییرات آب و هوا و افزایش دما تأثیر قابل‌توجهی دارد [1, 2]. در این مناطق، بیشترین جمعیت، به مخازن آب سطحی متکی هستند که از تلفات قابل توجه آب ناشی از تبخیر، به ویژه در مناطق خشک تاثیر می‌پذیرد. کمبود آب و وقوع بارندگی با توزیع نامناسب در این مناطق می‌تواند منجر به نرخ تبخیر بالا و نوسانات شدید سطح آب در محیط‌های شامل آب‌های راکد مانند مخازن شود [2]. در نتیجه بررسی عوامل موثر بر تبخیر در مناطق خشک اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. در هیدرولوژی، استفاده از سنجش از دور[1] با استفاده از مادون قرمز حرارتی[2] برای تخمین تبخیر از جذابیت بالایی در تحقیقات و مطالعات برخوردار است. این روش شامل ترکیب اندازه‌گیری‌های زمینی پارامترهای هواشناسی با تصاویر حرارتی به دست آمده از حسگرهای ماهواره‌ای برای تعیین تبخیر است. دمای سطح بازیابی شده از تصاویر ماهواره‌ای حرارتی را می‌توان به همراه رابطه‌های نظری یا تجربی تخمین تبخیر برای دریاچه‌ها و مخازن استفاده کرد [3].

یکی از نکات قابل تامل تعیین تاثیر عناصر محیطی و شرایط هیدرولوژیکی منطقه بر تبخیر می‌باشد. از شاخصه‌های موثر بر چرخه هیدرولوژیکی منطقه، پیوستگی هیدرولوژیکی[3] را می‌توان نام برد. اتصال یا پیوستگی هیدرولوژیکی به تماس مکانی، در دامنه‌های تپه‌ها، مناطق با قدرت رسانایی و هدایت کنندگی بالا، و سایر عناصر طبیعت اشاره دارد [4]، این مسئله در مباحث مربوط به مدیریت و مهندسی آب، مانند انتقال رسوبات همراه با فرسایش خاک، و ارزیابی‌های زیست محیطی برای سیستم‌های دشت سیلابی بزرگ [5]، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تغییر در اتصالات هیدرولوژیکی بر مسیر جریان و انتقال آلاینده در مقیاس‌های مکانی و زمانی تأثیر می‌گذارد [4]، پیوستگی هیدرولوژیکی که در دید خیلی کلی‌تر پتانسیل حرکت یک ذره خاص در سیستم را نشان می‌دهد، نمایانگر میزان انتقال رسوب و مواد مغذی توسط جریان آب در یک سیستم است و میزان انتقال، پخش، و توزیع مجدد آلاینده‌ها را تعیین می‌کند [6]. یک اصطلاح مرتبط که بیشتر در ارزیابی سیستم‌های ژئومورفیک[4] استفاده می‌شود، جفت یا زوج[5] است که بر پیوند بین دو زیرسیستم[6]، به ویژه در دامنه شیب و کانال تأکید می‌کند. اگر زیرسیستم‌ها جفت شوند، انتقال رسوب ممکن است در سراسر مرز متقابل آنها انجام شود و یک ناحیه شیبدار خالص وجود داشته باشد [7]. در صورت عدم برقراری اتصال هیدرولوژیکی، ذخیره‌سازی رخ می‌دهد. جفت‌شدن و پیوستگی هر دو دارای یک بعد زمانی مهم هستند و ممکن است در طول زمان در پاسخ به تغییرات آب و هوایی یا مداخلات انسانی در حوضه، تغییر کنند [8].

برای بررسی پیوستگی هیدرولوژیکی در یک منطقه باید شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی مناسب مانند شاخص طول جریان[7] و شاخص رطوبت توپوگرافیک[8] را تعیین کرد. طول جریان فاصله هر نقطه از حوضه تا خروجی را منعکس می‌کند. طول جریان (FL) اهمیت ویژگی‌های توپوگرافی را در اتصال رواناب سطحی برجسته می‌کند و به طور گسترده برای توصیف پیوستگی مناطق منبع رواناب سطحی استفاده شده است [6]. طول جریان، اتصال مناطق مختلف را با توجه به پوشش گیاهی و توپوگرافی منطقه اندازه‌گیری می‌کند. شاخص طول جریان به عنوان طول متوسط تمام مسیرهای بالقوه رواناب در منطقه هدف تعریف می‌شود. بنابراین، مقدار بالای شاخص، نشان دهنده اتصال هیدرولوژیکی بالاتر مناطق حوضه است. مقدار بالاتر طول جریان نشان‌دهنده طول متوسط بالاتر مسیرهای رواناب و در نتیجه اتصال هیدرولوژیکی بالاتر است. طول جریان پتانسیل به عنوان یک متغیر توضیحی برای بازدهی رواناب و رسوب توسط طیف وسیعی از تحقیقات مورد آزمایش قرار گرفته است [9]. طیف گسترده‌ای از شاخص‌های رطوبتی مبتنی بر توپوگرافی نیز ایجاد شده‌اند. شاخص‌های رطوبتی اولیه بر این فرض تکیه می‌کردند که، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک، کنترل‌گرهای درجه اول و دوم آب کم عمق داخل خاک هستند. ویژگی‌های توپوگرافی اولیه مانند شیب سطح، مساحت شیب یا انحنا به صورت جداگانه یا ترکیبی برای پیش‌بینی محتوای آب و خاک مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سایر عوامل موثر بر محتوای آب و خاک مانند ویژگی‌های خاک یا انرژی قابل دسترس از تابش خورشید نیز در فرمول برخی از شاخص‌های توپوگرافی ادغام شده‌اند. افزایش در دسترس بودن مدل‌های رقومی‌ارتفاع[9] منجر به توسعه شاخص‌های توپوگرافی پیچیده‌تر شده است که رایج‌ترین آن‌ها شاخص رطوبت توپوگرافی (TWI) است، که در مدلی از

[1] Remote sensing
[2] Thermal infrared (TIR)
[3] Hydrological connectivity
[4] Geomorphic
[5] Coupling
[6] Subsystems
[7] Flowlength (FL)
[8] Topographic wetness index (TWI)
[9] Digital elevation model (DEM)

بارش- رواناب ایجاد شده است [10]. شاخص رطوبت توپوگرافی، تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک و پتانسیل تشکیل رواناب سطحی را منعکس می‌کند و تغییرات توپوگرافی و تأثیر آنها بر رواناب سطحی را توصیف می‌کند که نشان‌دهنده پیوستگی هیدرولوژیکی حوضه است [11, 7].

انتخاب روش مناسب برای تشخیص تأثیر ویژگی‌های آب و هوایی منطقه و اتصال هیدرولوژیکی بر تبخیر اهمیت ویژه‌ای دارد. رویکردهای آماری مرسوم، مانند رگرسیون خطی چندگانه[1] می‌توانند این اثر را با فرض یک مدل داده مناسب وتخمین پارامترهای مدل بر اساس داده‌ها، بررسی کنند [12]. با این حال، معیارهای هواشناسی منطقه و معیارهای پیوستگی هیدرولوژیکی با یکدیگر همبستگی زیادی دارند و متغیرهای مستقلی نیستند، در نتیجه در صورت استفاده از تکنیک‌های رگرسیون چند متغیره مرسوم، نتایج گمراه‌کننده یا مغرضانه را به همراه دارد. ازمزایای یادگیری ماشینی[2]، اجتناب از شروع با یک مدل داده و استفاده از الگوریتم‌های مختلف برای یادگیری رابطه بین پاسخ و پیش‌بینی کننده‌های آن است و نیازی به در نظر گرفتن تعامل و همبستگی بین متغیرهای مستقل وجود ندارد [13]، شبکه عصبی مصنوعی[3] می‌تواند برای تعیین اهمیت نسبی اتصال هیدرولوژیکی و ویژگی‌های منطقه در تبخیر مورد استفاده قرار بگیرد. این فرآیند می‌تواند با تشکیل یک شبکه از داده‌های موجود و تعیین تاثیر هر کدام از پارامترها در تشکیل این شبکه یعنی اهمیت نسبی[4] هر متغیر انجام شود، هرچه اهمیت نسبی یک متغیر بیشتر باشد، تأثیر متغیر بر پیش‌بینی شبکه قوی‌تر است [14]. در گذشته تحقیقات بسیاری به تعیین اهمیت نسبی با شبکه عصبی مصنوعی پرداخته‌اند [15, 16].

۲- اهداف

هدف اصلی این مطالعه، کشف تاثیر پیوستگی هیدرولوژیکی و بقیه ویژگی‌های آب و هوایی منطقه بر تبخیر مخزن چاه‌نیمه‌ها در استان سیستان و بلوچستان می‌باشد.

۳- داده‌ها و روش‌ها

۳-۱- موقعیت منطقه

مخازن چاه‌نیمه‌ها در استان سیستان و بلوچستان واقع شده و طول جغرافیایی ۵۹ تا ۷۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۹ تا ۳۴ درجه شمالی را در بر می‌گیرد. مخازن چهار قسمتی چاه‌نیمه‌ها در ۵۰ کیلومتری شهر زابل و ۵ کیلومتری شهر زهک و در معرض وزش بادهای ۱۲۰ روزه قرار دارد. شکل (۱) تصویری از موقعیت قرارگیری چاه‌نیمه‌هارا نشان می‌دهد که از تصویر لندست ۸ در تاریخ ۲۴/۴/۲۰۱۳ به دست آمده‌است.

شکل ۱. محل قرارگیری چاه‌نیمه‌ها
به همراه محل ایستگاه هواشناسی (مربع زرد)

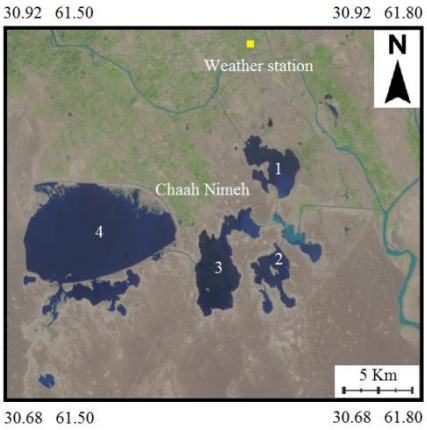


Fig. 1. The location of the Chaah Nimeh along with the location of the meteorological station (Yellow square)

۳-۲- داده‌ها

داده‌های هواشناسی اندازه گیری شده زمینی شامل تابش یا تشعشع خالص روزانه (Rn)، سرعت باد (u) و فشار هوا (p) است، که به صورت روزانه از آپریل ۲۰۱۳ تا ژوئن ۲۰۲۱، مطابق با تاریخ تصاویر انتخابی از ایستگاه سینوپتیکی سازمان هواشناسی کشور در شهر زهک (مربع زرد در شکل ۱) در عرض جغرافیایی ۳۰/۹ درجه و طول جغرافیایی ۶۱/۶۸ درجه جمع‌آوری شده‌است. رطوبت نسبی (RH)، از حسابگر پارامتر تصحیح جوی[5] موجود در(https://atmcorr.gsfc.nasa.gov) به دست آمده است. این حسابگر از پروفایل‌های NCEP/GDAS و مدل انتقال تابشی MODTRAN استفاده می‌کند و به ورودی‌های زمان و طول و عرض جغرافیایی نیاز دارد [17]. بیشترین و کمترین، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای هر پارامتر به کار رفته در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده‌است. در این مطالعه، از تصاویر مجموعه یک[6] و سطح ماهواره لندست ۸ برای تخمین دمای سطح آب استفاده

[1] Multiple linear regression
[2] Machine learning
[3] Artificial neural network
[4] Relative Importance (RI)
[5] Atmospheric correction parameter calculator
[6] Collection 1
[7] Level 1

شده‌است. پس از حذف تصاویر تحت تاثیر ابر، همه تصاویر باقی مانده در شرایط آسمان صاف برای چاه‌نیمه‌ها از آپریل ۲۰۱۳ تا ژوئن ۲۰۲۱ تهیه شد. این فرآیند در نهایت منجر به جمع آوری ۱۳۷ تصویر از وب سایت سازمان زمین شناسی ایالات متحده (USGS) به آدرس (http://www.earthexplorer.usgs.gov) شد. پیش پردازش تصاویر شامل تصحیحات جوی و شناسایی آب از خشکی با استفاده از نرم افزار QGIS و نرم افزار ACOLITE انجام شد.

جدول ۱. بیشترین وکمترین میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای پارامترهای استفاده شده

Inputs	Max	Min	Average	SD	CV
u (m/s)	18.0	1.0	7.8	4.4	56.7%
Rn (MJ m^{-2} day^{-1})	98.6	8.5	25.7	12.4	48.2%
p (kpa)	97.0	94.0	95.4	0.8	0.8%
RH (%)	61.0	5.0	18.7	11.0	58.5%

Table 1. The maximum, minimum, average, standard deviation, and coefficient of variation for each parameter employed

۳-۳- روش تحقیق

شکل (۲). به طور مختصر چارچوب فرآیند تحقیق و بینشی از هر مرحله از فرآیند را ارائه می‌دهد. این تحقیق در چهار مرحله کلیدی سازمان دهی شده است: مرحله اولیه مستلزم جمع‌آوری داده‌هاست که توضیح داده شد. مرحله دوم شامل استخراج داده‌های دمای سطح آب و به دست آوردن مقادیر تبخیر است. در مرحله سوم، مقادیر FL و TWI به دست می‌آیند و آخرین مرحله چهارم اهمیت نسبی هر پارامتر محاسبه می‌شود. جزئیات مربوط به مراحل ۲ تا ۴ در این قسمت توضیح داده خواهد شد. لازم به ذکر است که روش مورد استفاده در این مقاله برای برآورد دما و تبخیر توسط همین نویسندگان در مقاله [18]، مورد بررسی و اعتبارسنجی قرار گرفته است و مقادیر دما و تبخیر به دست آمده از روش مورد استفاده در این مقاله، در مقایسه با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در محل، دقت بالایی را از خود نشان می‌دهند.

شکل ۲. فلوچارت مراحل انجام تحقیق به صورت خلاصه

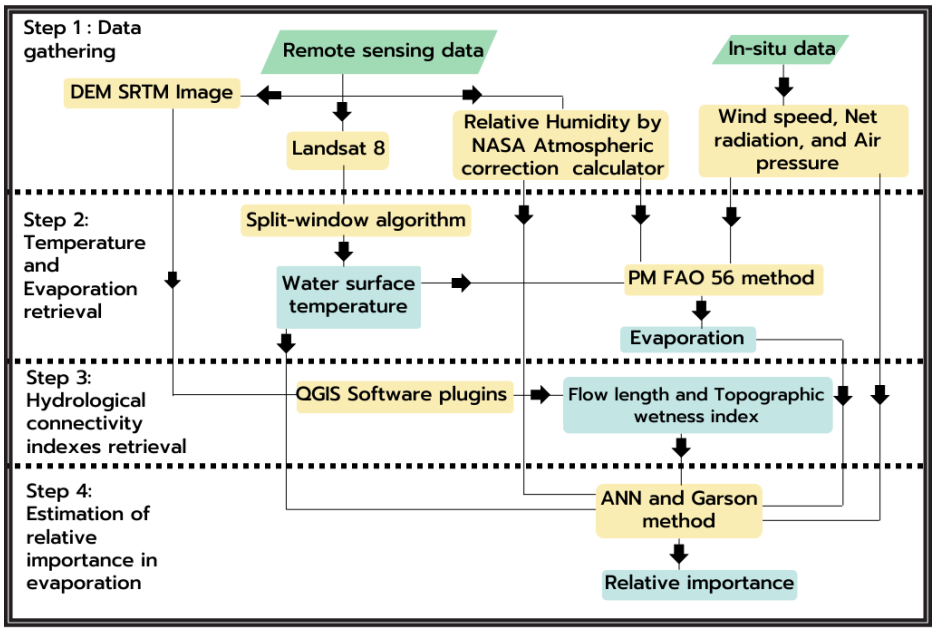


Fig. 2. Flowchart of summarized research steps

۳-۳-۱- برآورد دما

تا به امروز به منظور استخراج دمای سطح آب از تصاویر ماهواره‌ای، ترکیبی از ماهواره‌های مختلف و روش‌های مختلف به کار گرفته شده است، به عنوان نمونه تکنیک پنجره مجزا[1] به عنوان ابزاری مناسب برای محاسبه دمای سطح آب، با استفاده از دو باند مادون قرمز حرارتی (باندهای ۱۰ و ۱۱) ماهواره لندست ۸ در بسیاری از تحقیقات گذشته استفاده شده است [19]. الگوریتم پنجره مجزا بر اساس معادله انتقال تابش رادیواکتیو (۲۰)، رابطه (۱) را برای تکمیل فرآیند تصحیح پیشنهاد می‌کند [21].

[1] Split-window

$$LST = b_0 + \left(b_1 + b_2\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_3\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}\right)\frac{T_i - T_j}{2} + \left(b_4 + b_5\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_6\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^2}\right)\frac{T_i - T_j}{2} + b_7(T_i - T_j)^2 \quad (۱)$$

که در آن T_j و T_i دمای روشنایی بالای اتمسفر هستند، ε یا گسیلندگی به معنای میانگین انتشار دو باند است $(\varepsilon = 0.5(\varepsilon_i + \varepsilon_j))$، $\Delta\varepsilon$ اختلاف انتشار دو باند، $(\Delta\varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j)$، ε_{band10}=0.9926 و ε_{band11}=0.9877 (۲۰) می‌باشد. هم‌چنین b_k ضرایب این الگوریتم است که با توجه به مطالعات گذشته متناسب با مقادیر ستون بخار آب[1] که از محاسبه‌گر پارامتر تصحیح اتمسفر ناسا مشابه RH به دست می‌آید، برآورد می‌شود و طبق مطالعات مذکور برای این شرایط در منطقه به صورت زیر است [21]:

$b_0 = -2.78009,\ b_1 = 1.01408,\ b_2 = 0.15833,\ b_3 - 0.34991,\ b_4 = 4.04487,\ b_5 = 3.55414,\ b_6 = -8.88394,\ b_7 = 0.09152$

در این تحقیق، از نرم افزار ACOLITE برای اجرای الگوریتم پنجره مجزا یعنی رابطه (۱) استفاده شده، که فرآیند تصحیح اتمسفری یعنی حذف آثار اتمسفر از تصاویر، کاملا تصویر محور بوده، یعنی تنها به کمک خود تصویر انجام می‌شود و به ورودی داده‌های خارجی اضافه متکی نیست [20]. این نرم‌افزار با پردازش مجموعه داده‌های لندست ۸ برای هر روز معین، مقادیر دمای روشنایی بالای جو را به طور مشخص برای باندهای ۱۰ و ۱۱ محاسبه می‌کند.

با استفاده از این تصاویر و با ادغام آن در رابطه (۱) به وسیله کدنویسی در MATLAB، بقیه مراحل محاسبه دما پیمایش می‌شوند که به استخراج نقشه‌های دمای سطح آب ختم می‌شود.

۳-۳-۲- برآورد تبخیر

فرآیند تخمین تبخیر در این مطالعه بر مبنای دمای سطح آب مشتق شده از تصاویر لندست ۸ و پارامترهای آب و هوایی محیط که از اندازه‌گیری‌های زمینی به دست آمده، بنا شده است. لازم به ذکر است که تبخیر بالقوه[2] بیانگر بیشترین مقدار آبی است که می‌تواند بدون محدودیت از آب یا خاک تبخیر شود [22, 23]. با توجه به ظرفیت بالای تبخیر از سطح بدنه‌های آبی، در این مطالعه از اصطلاح تبخیر به معنای تبخیر بالقوه تخمین زده شده، استفاده می‌شود. روش PM FAO 56 یا فائو پنمن مانتیث یعنی رابطه (2) به عنوان یک روش تشعشعی رایج برای تخمین تبخیر در بیشتر مناطق در نظر گرفته می‌شود [24-26]. لازم به ذکر است که شار گرمای روزانه آب[3] اغلب متعادل، خنثی و مساوی صفر می‌شود، زیرا انرژی جذب شده در طول روز با تلفات شبانه جبران می‌شود [27]. در نتیجه ذخیره انرژی[4] یا G دارای مقدار ناچیزی است که می‌توان آن را نادیده گرفت [24]. فشار بخار آب اشباع روی سطح آب با استفاده از کدنویسی رابطه (3) در MATLAB ،فشار بخار با رابطه (4)، شیب فشار بخار اشباع با رابطه (5) وثابت روان سنجی (سایکومتری[5]) با رابطه (6) محاسبه می‌شود [3].

$$E = \frac{0.408 \times s \times (R_n - G) + \frac{\gamma \times 900 \times u \times (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma \times (1 + 0.34 \times u)} \quad (۲)$$

$$e_s = 6.1078\, exp\left(\frac{17.269 \times T}{237.3 + T}\right) \quad (۳)$$

$$e_a = \frac{RH}{100} \times e_s \quad (۴)$$

$$s = \frac{4098 \times e_s}{(237.3 + T)^2} \quad (۵)$$

$$\gamma = p \times \frac{C_p}{0.622} \times L_E \quad (۶)$$

که در آن e_a و e_s فشار بخار و فشار بخار اشباع (kpa) هستند، T دمای سطح آب (C°) که برای دستیابی به نتیجه بهتر، دمای سطح آب مورد استفاده، متوسط دمای سطح آب در کل چاه نیمه‌هاست، RH رطوبت نسبی (٪)، E تبخیر (mm/day)، u سرعت باد (m/s)، Rn از داده‌های هواشناسی، تابش خالص[6] ($MJ\ m^{-2}\ day^{-1}$)، p فشار هوا (kpa)، s شیب منحنی فشار بخار اشباع، γ ثابت روان سنجی (hPa/°C)، L_E گرمای نهان تبخیر یا 2.26 ($MJ\ kg^{-1}$) و C_p گرمای ویژه هوا در فشار ثابت (J/Kg*°C) است.

۳-۳-۳- برآورد شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی

به منظور به دست آوردن مقادیر شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی، تصویر مدل ارتفاعی دیجیتالی (DEM) از رادار ماموریت توپوگرافی شاتل[7] با ابعاد ۳۰ متر از چاه نیمه‌ها تهیه شده است. این تصویر در شکل (۳) به همراهی جانمایی چاه‌نیمه‌ها قابل

[1] Column water vapor
[2] Potential evaporation
[3] Daily water heat flux
[4] Energy storage
[5] Psychometric
[6] Net Radiation
[7] Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

مشاهده است. از دو معیار طول جریان و شاخص رطوبت توپوگرافی برای بررسی اتصال هیدرولوژیکی مخازن استفاده شد. طول جریان از پلاگین‌های ارائه شده در نرم افزار QGIS به دست می‌آید. این پلاگین‌ها طول پتانسیل مسیر رواناب از هر سلول را، در یک نقشه باینری[1] با پیکسل‌های خاک برهنه به عنوان منابع رواناب و پیکسل‌های پوشش گیاهی به عنوان مخزن رواناب، محاسبه می‌کند.

شکل ۳. تصویر DEM مورد استفاده به همراه جانمایی چاه‌نیمه‌ها

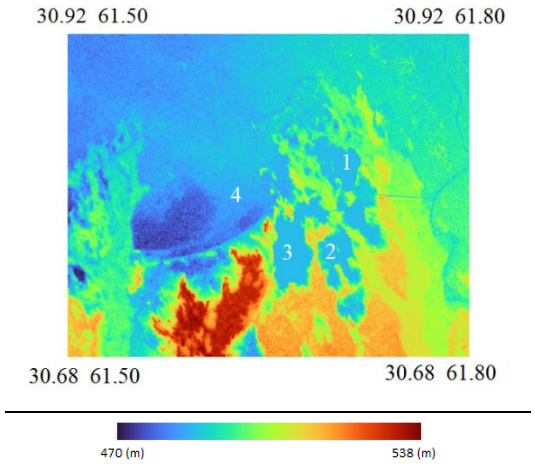


Fig. 3. Image of used DEM along with the placement of Chaah Nimeh

مسیرهای جریان با استفاده از یک الگوریتم جهت جریان یک طرفه[2] و با در نظر گرفتن جهت نزولی تعیین شده از مدل ارتفاع دیجیتالی، روی نقشه باینری تعریف می‌شوند. بر خلاف پوشش گیاهی، چاه های توپوگرافی در ابتدا در نقشه هدف شناسایی نمی شوند. در عوض، الگوریتم مسیر جریان را زمانی به پایان می‌رساند که به پیکسلی رسیده و تمام پیکسل‌های همسایه یا در ارتفاع بالاتری قرار دارند یا پیشتر توسط آن مسیر بازدید شده‌اند. بنابراین، مسیر به گونه‌ای محدود می‌شود که از طریق شیب‌دارترین پیکسل نزولی همسایه با شیب رو به پایین، از پیکسلی به پیکسل دیگر، در جهت اصلی یا مورب پیش برود، تا زمانی که به یک پیکسل گیاهی، و یا یک فرورفتگی کوچک سطحی برسد و یا تا زمانی که از محدوده مورد بررسی خارج شود. طول جریان از مرکز یک سلول معین تا مرکز سلول بعدی در امتداد شیب، با در نظر گرفتن اختلاف پیکسل‌ها در ارتفاع و مقادیری که با زاویه شیب افزایش می‌یابند، محاسبه می‌شود. طول جریان با تصویر DEM موجود توسط پلاگین flow path length SAGA در QGIS تعیین شد. شاخص رطوبت توپوگرافی از رابطه (7) محاسبه می‌شود:

$$TWI = \ln(\frac{\alpha}{\tan\beta}) \quad (۷)$$

که در آن TWI شاخص رطوبت توپوگرافیک، α سطح شیب محل در واحد طول (ناحیه شیب ویژه[3]) در مبنای متر، و β زاویه شیب سطح محل در مبنای درجه است. α مقدار آبی را نشان می‌دهد که به سمت یک مکان خاص جریان می‌یابد در حالی که β انتقال جانبی زیرسطحی را منعکس می‌کند [26]. در واقع در این رابطه با استفاده از پارامترهای توپوگرافی ساده مانند α و β مناطق با رطوبت بالای خاک که احتمالاً به دلیل اشباع خاک به جریان سطحی کمک می‌کنند، مشخص می‌شوند [29, 30] مناطق خطی با مقادیر TWI به طور مداوم بالا به عنوان مسیرهای بالقوه رواناب سطحی در نظر گرفته می‌شوند، که نشان‌دهنده اتصال سطحی بین بخش‌های بالای شیب و پایین شیب است. تکه‌های جدا شده با مقادیر TWI بالا نشان‌دهنده سینک‌های هیدرولوژیکی محلی هستند، که در آن آب ورودی یا ذخیره می‌شود و به آرامی توسط تبخیر از بین می‌رود، یا به زیرسطح هدایت می‌شود [31, 32] در این تحقیق برای تعیین شاخص TWI ابتدا با استفاده از تصویر مدل ارتفاعی دیجیتالی در نرم افزار QGIS و با دستور Slop تصویر شیب منطقه یعنی مقادیر β به دست می‌آید، سپس این تصویر شیب که مقادیر آن بر مبنای درجه می‌باشند به تصویری در واحد رادیانس تبدیل می‌شود، که با کمک پلاگین Flow Accumulation تبدیل به تصویر مقادیر α می‌شود. سپس با کد نویسی رابطه (7) در Raster Calculator، مقادیر TWI محاسبه می‌شود.

۳-۳-۴- برآورد اهمیت نسبی

در این تحقیق از ANN برای بررسی میزان تأثیر ورودی‌های مختلف مدل تبخیر در سناریوهای مختلف اقلیمی استفاده شده است. به منظور تعیین تاثیر هر معیار بر روی مقادیر تبخیر، اهمیت نسبی هر پارامتر محاسبه شده است. این فرآیند به کمک تشکیل یک شبکه عصبی مصنوعی از داده‌ها و برقراری رابطه تعیین اهمیت نسبی گارسون بر اساس وزن‌های تخصیص داده شده به هر پارامتر توسط شبکه، انجام می‌شود. سازماندهی ساختار ANN شامل

[1] Binary map
[2] Single flow direction (SFD)
[3] Specific catchment area

لایه‌های ورودی[1]، پنهان[2] و خروجی[3] است. هر لایه شامل واحدهای به هم پیوسته‌ای است که به عنوان نورون[4] شناخته می‌شوند. در مرحله آزمایش[5]، ساختار شبکه بر اساس ویژگی‌های داده‌ها تعیین می‌شود. داده‌ها به لایه ورودی ارائه می‌شود تا انتشار اطلاعات در سراسر شبکه را آغاز کنند. در طول فرآیند آموزش، شبکه ورودی‌هایی را در خود جای می‌دهد که در وزن‌های قابل تنظیم[6] ضرب می‌شوند. سپس این ورودی‌های وزن‌دار با عبارات بایاس[7] جمع می‌شوند و از یک تابع فعال سازی عبور می‌کنند که از بزرگ شدن بیش از حد خروجی جلوگیری می‌کند. در ادامه شبکه وزن‌ها را تطبیق می‌دهد و از یک الگوریتم یادگیری برای کشف ترکیبی از وزن‌ها استفاده می‌کند که خطا را به کمترین می‌رساند [33]. روش گارسون وزن‌های متصل کننده نورون‌های پنهان به نورون‌های خروجی را تشریح می‌کند و اجزای خاصی را به هر نورون ورودی نسبت می‌دهد. این تجزیه به هر متغیر یک مقدار منحصر به فرد اختصاص می‌دهد تا رابطه آن با متغیر پاسخ روشن شود. روش گارسون یعنی رابطه (8) روشی برای تقسیم وزن اتصالات شبکه عصبی به منظور تعیین اهمیت نسبی هر متغیر ورودی در شبکه می‌باشد [34, 35].

$$RI_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{|W_{ij}W_{jk}|}{\sum_{j=1}^{m}|W_{ij}W_{jk}|} \quad (۸)$$

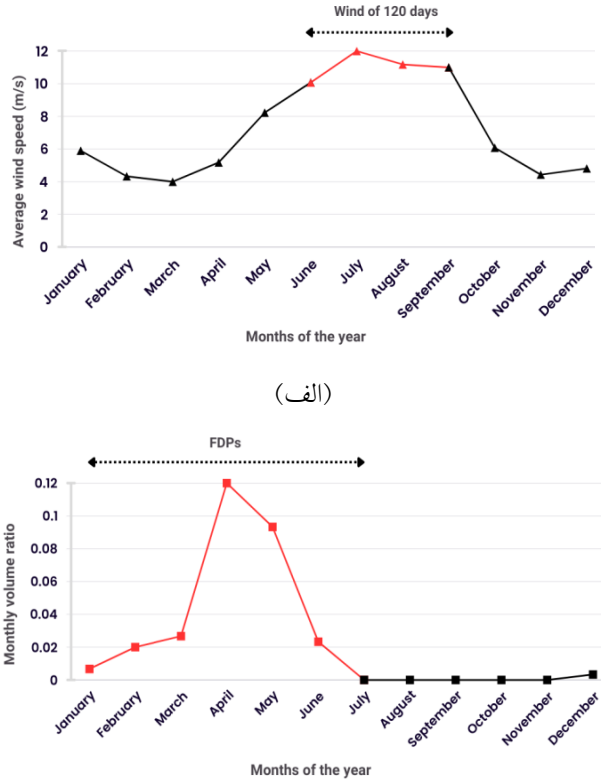
که در آن RI_i اهمیت نسبی پارامتر i (هر پارامتر) در تبخیر، W_{ij} وزن اتصال بین هر ورودی و لایه‌های پنهان، W_{jk} وزن اتصال بین لایه پنهان و خروجی، j تعداد کل لایه‌های پنهان و k تعداد لایه‌های خروجی است. این الگوریتم اهمیت نسبی هر متغیر ورودی را با تأثیر آن بر خروجی به صورت درصد محاسبه می‌کند [36]. مقادیر وزن بالاتر نشان دهنده اهمیت بیشتر آن متغیر ورودی است. در این تحقیق از ANN برای بررسی سهم ورودی‌های مدل تبخیر در سناریوهای مختلف اقلیمی، یعنی دوره‌های وزش باد ۱۲۰ روزه و عدم وزش آن و هم چنین دوره‌های خشکسالی و ترسالی استفاده شده است. به این منظور ابتدا با استفاده از داده‌های وزش باد که در ۱۳۷ روز از ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ جمع آوری شده بود، میانگین وزش باد برای هر ماه تعیین شد، همان طور که در شکل (۴) قسمت (الف) قابل مشاهده می‌باشد، مقادیر سرعت باد در ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست بیشتر از بقیه ماه‌های سال می‌باشد و به بیش از ده متردر ثانیه می‌رسد که نشان دهنده وزش باد ۱۲۰ روزه در این بازه زمانی می‌باشد. با توجه به این نتایج می‌توان داده‌های هواشناسی ورودی و خروجی شبکه را به دو دسته تقسیم نمود. یک شبکه با استفاده از داده‌هایی تشکیل می‌شود که در روزهای وزش باد ۱۲۰ روزه قرار دارند و شبکه دیگر برای داده‌هایی که در دسته روزهای عدم وزش باد ۱۲۰ روزه قرار می‌گیرند. از همین رویه برای تعیین دوره ترسالی[8] و خشکسالی[9] نیز استفاده می‌شود. همان طور که در شکل (۴) قسمت (ب) قابل مشاهده است، میانگین نسبت دبی ورودی آب به چاه نیمه‌ها به کل حجم مخزن برای هر ماه از سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ نشان داده شده است. نسبت آب ورودی به مخزن به حجم مخزن در شش ماه اول سال میلادی بسیار بیشتر از نیمه دوم سال که مقادیر نزدیک به صفر را به خود اختصاص داده اند، می‌باشد. در نتیجه می‌توان دو شبکه مصنوعی مجزا یکی با استفاده از داده‌هایی که در محدوده روزهای خشکسالی سال قرار می‌گیرند و دیگری با داده‌هایی که مختص به روزهای محدوده ترسالی می‌باشند، تشکیل داد.

ورودی‌های شبکه عصبی مصنوعی ANN عبارتند از: Rn، RH، u ، p، تصاویر T یا تصاویر دمای سطح آب در واحد درجه سانتی‌گراد، تصویر FL یا تصویر مقادیر طول جریان به دست آمده در واحد متر، و تصویر TWI یا تصویر شاخص رطوبت توپوگرافیک بدون واحد. خروجی شبکه نیز تصاویر تبخیر به دست آمده از روش PM FAO 56 در واحد میلی‌متر در روز می‌باشد. داده‌های هواشناسی Rn، u، p، و RH به صورت ورودی‌های عددی وارد شبکه می‌شوند. داده‌های FL و TWI با تقسیم تصویر بر سلول‌هایی با اضلاع برابر و محاسبه میانگین هر سلول به شبکه وارد می‌شود. داده‌های T و E نیز برای هر ۱۳۷ روز تهیه شده و سپس به صورت میانگینی از مقادیر سلولی متناظر با سلول FL و TWI به شبکه وارد می‌شود. در ادامه با استفاده از با کدنویسی رابطه (8) یعنی رابطه ی گارسون تأثیر هر پارامتر در شکل‌دهی هر شبکه عصبی مصنوعی و سهم آن در خروجی تبخیر و

[1] Inputs layers
[2] Hidden layers
[3] Output layers
[4] Neurons
[5] Training
[6] Adjustable weights
[7] Bias terms
[8] Flood discharge periods (FDPs)
[9] Water storage periods (WSPs)

یا به عبارتی اهمیت نسبی هر پارامتر، با استفاده از وزن‌های شبکه عصبی مصنوعی تعیین می‌شود.

شکل ۴. قسمت (الف) نشان دهنده میانگین مقادیر سرعت باد از ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۱ به صورت ماهانه در واحد متر بر ثانیه به همراه جداسازی محدوده ی وزش باد ۱۲۰ روزه، و قسمت (ب) نشان دهنده میانگین نسبت آب ورودی به چاه نیمه به حجم کل مخزن به صورت ماهانه از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ به همراه جداسازی محدوده ترسالی (FDPs)



(الف)

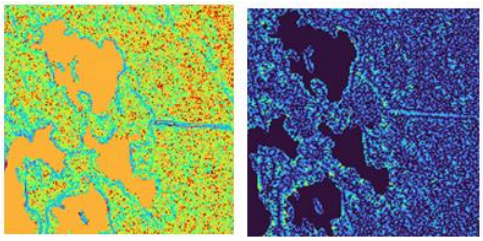
(ب)

Fig. 4. Part (a) the average of wind speed values (m/s) from 2013 to 2021 on a monthly basis along with the separation of wind of 120 days range, and part (b) the average ratio of incoming discharge water to Chaah Nimeh to the total volume of the lakes on a monthly basis from 2005 to 2020 along with the separation of the FDPs range

۴- نتایج

همانطور که در شکل (۵) قابل مشاهده است تصاویر FL و TWI به کمک QGIS تهیه شده است. شکل (۵) قسمتی از این دو تصویر را در محدوده ورود آب به چاه نیمه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان مقادیر بالای TWI و مقادیر پایین FL را در محل قرار گیری چاه‌نیمه‌ها به عنوان سینک توپوگرافیک محل مشاهده نمود. هم چنین محل قرارگیری رودخانه ورودی به چاه نیمه‌ها قابل تشخیص می‌باشد.

شکل ۵. قسمت (الف) تصویر FL و قسمت (ب) تصویر TWI تهیه شده در محدوده ی ورود آب به چاه نیمه‌ها



(ب) (الف)

Fig. 5. Part (a) the FL image and part (b) the TWI image in the area of entering water to the Chaah Nimeh.

همان طور که در شکل (۶) قابل مشاهده است، در دوره‌های FDPs (دوره‌های تخلیه سیل و دبی زیاد جریان) اهمیت نسبی برای Rn، RH، u، p، T، FL و TWI به ترتیب به این صورت می‌باشد: ۷,۱۲٪، ۵,۷۵٪، ۸,۴۳٪، ۶,۱۵٪، ۱۷,۷۵٪، ۲۴,۸۶٪ و ۲۹,۹۴٪. در دوره‌های WSPs (دوره‌های ذخیره آب و دبی کم جریان) این درصدهای اهمیت نسبی به ترتیب به این صورت می‌باشند: ۱۰,۷۶٪، ۴,۷۲٪، ۱۰,۶۳٪، ۵,۴۶٪، ۱۸,۶۲٪، ۲۲,۶۰٪ و ۲۷,۲۱٪.

شکل ۶. اهمیت نسبی معیارهای Rn، RH، u، p، T، FL و TWI بر مقادیر تبخیر بر حسب درصد، در دو محدوده ی ترسالی (FDPs) و خشکسالی (WSPs)

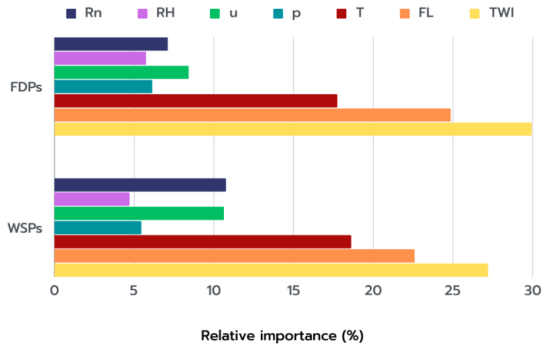


Fig. 6. The relative importance of (Rn), (RH), (u), (p), (T), (FL), and (TWI) on the evaporation values in percentage, in two ranges of FDPs and WSPs

با توجه به شکل (۷) می‌توان دریافت که برای روزهایی از سال که باد ۱۲۰ روزه اتفاق می‌افتد، اهمیت نسبی شاخص‌های ذکر شده به ترتیب به این صورت می‌باشد: ۱۲,۰۲٪، ۸,۳۵٪، ۱۴,۳۴٪، ۲,۴۵٪، ۲۰,۷۱٪، ۱۹,۹۹٪ و ۲۲,۱۴٪. برای روزهایی از سال که باد ۱۲۰ روزه نمی‌وزد نیز به صورت زیر می‌باشد: ۱۰,۷۱٪، ۵,۸۷٪، ۹,۲۱٪، ۵,۹۱٪، ۱۶,۳۲٪، ۲۴,۷۷٪ و ۲۷,۲۱٪.

با توجه به شکل (۸) قسمت (الف) می‌توان مشاهده نمود که اهمیت نسبی ترکیبی برای ویژگی‌های آب و هوایی منطقه یعنی مجموع درصد اهمیت نسبی پارامترهای هواشناسی یعنی Rn، u، RH، p، و T درطول FDPs ۴۵,۱۹٪ و برای مجموع درصد اهمیت‌های نسبی معیارهای اتصال هیدرولوژیکی یعنی FL و TWI ۵۴,۸۱٪ است، اما این مقادیر در دوره WSPs به ترتیب ۵۰,۲۰ ٪ و ۴۹,۸۰٪ است. در قسمت (ب) نیز مشاهده می‌شود که اهمیت نسبی ترکیبی ویژگی‌های آب و هوایی منطقه در محدوده‌ای از سال که باد ۱۲۰ روزه اتفاق می‌افتد ۵۷,۸۷٪ و برای مجموع معیارهای اتصال هیدرولوژیکی ۴۲,۱۳٪ است اما در بخشی از سال که باد ۱۲۰ روزه اتفاق نمی‌افتد این مقادیر به ترتیب ۴۸,۰۳٪ و ۵۱,۹۷٪ است.

۵- بحث

شکل (۶) نشان می‌دهد که در دوره ترسالی TWI، FL، و دمای سطح آب به ترتیب بیشترین تاثیر را روی تبخیر داشته‌اند، در حالی که u، Rn، p و RH در مرتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. به همین شکل مشاهده می‌شود که در دوره‌های خشکسالی مجددا سه رتبه اول متعلق به TWI، FL، و T می‌باشد، و Rn، u، p، و RH در رتبه‌های بعدی قرار دارند. شکل (۷) نیز نشان می‌دهد که در دوره‌های وزش باد ۱۲۰ روزه TWI، T، و FL بیشترین تاثیر را روی تبخیر دارند، و Rn، u، RH و p به ترتیب در رتبه‌های بعدی هستند. در شرایطی که باد ۱۲۰ روزه رخ نمی‌دهد نیز TWI، FL، و T به ترتیب بیشترین تاثیر را روی مقادیر تبخیر دارند، سپس در رتبه‌های بعدی Rn،u، p، و RH قرار می‌گیرند. از بررسی این دو شکل می‌توان نتیجه گرفت که TWI موثرترین شاخص بر مقادیر تبخیر در همه شرایط هیدرولوژیکی می‌باشد و بعد از آن دیگر شاخص پیوستگی هیدرولوژیکی یعنی FL تاثیر زیادی از خود نشان می‌دهد. به طور کلی شاخص‌های پیوستگی از شاخص‌های هواشناسی اهمیت نسبی بیشتری در تبخیر دارند. در بین شاخص‌های هواشناسی دمای سطح آب از دیگر شاخص‌ها تاثیر بیشتری در تبخیر دارد. همین طور می‌توان مشاهده نمود که در دوره وزش باد ۱۲۰ روزه معیار سرعت باد ۵٪ تاثیر بیشتری در تبخیر نسبت به دوره عدم وزش باد دارد که تاثیر باد در تبخیر را نشان می‌دهد.

در قسمت (الف) شکل (۸) مشاهده می‌شود که در دوره‌های ترسالی شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی تاثیر بیشتری از شاخص‌های هواشناسی روی مقادیر تبخیر دارند. در حالی که در دوره‌های خشکسالی تاثیر این دو دسته شاخص تقریبا برابر می‌شود. می‌توان گفت که تاثیر شاخص‌های پیوستگی روی تبخیر در دوره‌های ترسالی نسبت به دوره‌های خشکسالی ۵٪ بیشتر است. که می‌تواند ناشی از احتمال بیشتر جریان رواناب در دوره‌های ترسالی باشد. در قسمت (ب) شکل (۸) نیز می‌توان مشاهده نمود که در دوره‌های وزش باد ۱۲۰ روزه شاخص‌های هواشناسی تاثیر بیشتری روی مقادیر تبخیر دارند، در حالی که در

شکل ۷. اهمیت نسبی معیارهای Rn، RH، u، p، T، FL، و TWI بر مقادیر تبخیر بر حسب درصد، در دو محدوده ی وزش بادهای ۱۲۰ روزه و عدم وزش بادهای ۱۲۰ روزه

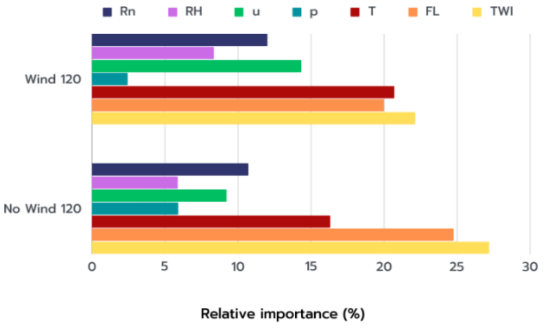
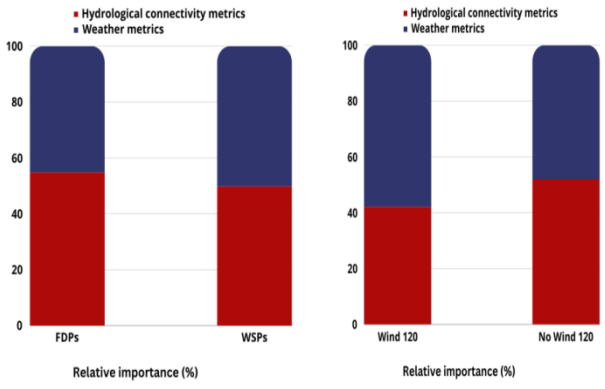


Fig. 7. The relative importance of (Rn), (RH), (u), (p), (T), (FL), and (TWI) on the evaporation values in percentage, in two ranges of occurrences of wind of 120 days and the days without it

شکل ۸. قسمت (الف) درصدس اهمیت نسبی مجموعه شاخص‌های آب و هوایی با رنگ آبی و مجموعه ی شاخص‌های پیوستگی توپوگرافیک با رنگ قرمز در دو محدوده ی خشکسالی و ترسالی، و قسمت (ب) درصدهای اهمیت نسبی در محدوده ی وزش باد ۱۲۰ روزه و محدوده ی عدم وزش آن



(الف) (ب)

Fig. 8. Part (a) the percentage of relative importance of the set of climate indicators with blue color and the set of topographic connectivity indexes with red color in two ranges of FDPs and WSPs, and Part (b) these percentages in the range of wind of 120 days wind blowing and its absence

دوره‌های عدم وزش باد ۱۲۰ روزه، دو مجموعه شاخص‌ها اهمیت نسبی تقریبا یکسانی از خود نشان می‌دهند. می‌توان نتیجه گرفت که در دوره ی وزش باد ۱۲۰ روزه شاخص‌های هواشناسی به اندازه ۱۰٪ تاثیر بیشتری روی تبخیر نسبت به شرایط عدم وزش باد دارند که می‌تواند نشان دهنده تاثیر پدیده‌های محیطی خاصی مانند وزش باد ۱۲۰ روزه روی تبخیر باشد.

نکته قابل توجه در مورد محل این مطالعه، ویژگی‌های خاص فیزیوگرافی آن، شیب پایین سطح زمین‌های اطراف، و وجود زمین‌های مسطح می‌باشد، که می‌تواند با تغییر شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی تاثیر بالایی در تبخیر منطقه از خود نشان دهد. به علاوه این منطقه رسوب‌گذاری بالایی دارد، که در مواقعی که دبی کمتری مشاهده می‌شود، بیشتر رسوب‌ها در جای خود ته‌نشینی می‌شوند که این امر در کنار وجود ریزگردهای زیاد در منطقه می‌تواند موجب تغییرات سریع و زیاد در سطح منطقه شود و مسیرهای حرکت آب را تغییر دهد که این امر با تغییر پیوستگی هیدرولوژیکی منطقه روی تبخیر تاثیر بالایی دارد و می‌تواند تاییدی بر تاثیر زیاد پیوستگی هیدرولوژیکی و شاخصه‌های آن در این منطقه با این شرایط خاص باشد.

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نشان داده شده که داده‌های هواشناسی و داده‌های به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای مانند دمای سطح آب و تبخیر به همراه شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی به کمک ابزارهای مناسبی مانند شبکه عصبی مصنوعی می‌توانند اطلاعات مناسبی در زمینه شرایط هیدرولوژیکی محیط ارائه دهند. در این پژوهش تاثیر بالای پیوستگی هیدرولوژیکی در تبخیر با تعیین اهمیت نسبی معیارها نشان داده شد. شاخص‌های پیوستگی در شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی مختلف مانند وزش و عدم وزش باد ۱۲۰ روزه و دوره‌های ترسالی و خشکسالی اهمیت نسبی بالا و در نتیجه تاثیر زیادی در تبخیر از خود نشان دادند. تاثیر زیاد شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی بر تبخیر به علت فیزیوگرافی خاص این منطقه قابل توجیه است. وجود شیب کم و زمین‌های مسطح زیاد که به صورت تغییر در شاخص‌های پیوستگی هیدرولوژیکی نمود پیدا می‌کند، تاثیر بالایی در نرخ و حجم تبخیر مناطق گرم و خشکی همچون منطقه قرارگیری چاه‌نیمه‌ها دارند. هم‌چنین عنصر باد در دوره‌های وزش باد ۱۲۰ روزه بیشتر از روزهای دیگر سال تاثیر خود را روی تبخیر اعمال می‌کند، در حالی که بین عناصر هواشناسی، دمای سطح آب دریاچه بیشترین تاثیر را بر تبخیر آب مخازن دارد.

۷- اعلام عدم تعارض منافع

نویسندگان این پژوهش اعلام می‌کنند که هیچ نوع تعارض منافعی وجود ندارد.

۸- مراجع

[1] Pomázi, I., 2009. OECD Environmental Outlook to 2030. *Hungarian Geographical Bulletin*, *58*(2), pp.139-140.

[2] Zhao, G. and Gao, H., 2019. Estimating reservoir evaporation losses for the United States: Fusing remote sensing and modeling approaches. *Remote Sensing of Environment*, *226*, pp.109-124.

[3] Oroud, I.M., 2019. The utility of thermal satellite images and land-based meteorology to estimate evaporation from large lakes. *Journal of Great Lakes Research*, *45*(4), pp.703-714.

[4] Saco, P.M., Rodríguez, J.F., Moreno-de las Heras, M., Keesstra, S., Azadi, S., Sandi, S., Baartman, J., Rodrigo-Comino, J. and Rossi, M.J., 2020. Using hydrological connectivity to detect transitions and degradation thresholds: Applications to dryland systems. *Catena*, *186*, p.104354.

[5] Li, Y., Tan, Z., Zhang, Q., Liu, X., Chen, J. and Yao, J., 2021. Refining the concept of hydrological connectivity for large floodplain systems: Framework and implications for eco-environmental assessments. *Water Research*, *195*, p.117005.

[6] Heckmann, T., Cavalli, M., Cerdan, O., Foerster, S., Javaux, M., Lode, E., Smetanová, A., Vericat, D. and Brardinoni, F., 2018. Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations. *Earth-Science Reviews*, *187*, pp.77-108.

[7] Jancewicz, K., Migoń, P. and Kasprzak, M., 2019. Connectivity patterns in contrasting types of tableland sandstone relief revealed by Topographic Wetness Index. *Science of the Total Environment*, *656*, pp.1046-1062.

[8] Fryirs, K., 2013. (Dis) Connectivity in catchment sediment cascades: a fresh look at the sediment delivery problem. *Earth Surface Processes and Landforms*, *38*(1), pp.30-46.

[9] Tarboton, D.G., 1997. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water resources research*, *33*(2), pp.309-319.

[10] Güntner, A. and Bronstert, A., 2004. Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas. *Journal of Hydrology*, *297*(1-4), pp.136-161.

[11] Lane, S.N., Reaney, S.M. and Heathwaite, A.L., 2009.

Representation of landscape hydrological connectivity using a topographically driven surface flow index. *Water Resources Research*, *45*(8).

[12] Dunn, P.K. and Smyth, G.K., 2018. *Generalized Linear Models With Examples in R*. Springer.

[13] Huang, R., Ma, C., Ma, J., Huangfu, X. and He, Q., 2021. Machine learning in natural and engineered water systems. *Water Research*, *205*, pp.117666-117666.

[14] Cheng, S., Cheng, L., Qin, S., Zhang, L., Liu, P., Liu, L., Xu, Z. and Wang, Q., 2022. Improved understanding of how catchment properties control hydrological partitioning through machine learning. *Water Resources Research*, *58*(4).

[15] Londhe, S.N. and Shah, S., 2019. A novel approach for knowledge extraction from artificial neural networks. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, *25*(3), pp.269-281.

[16] Nourani, V. and Fard, M.S., 2012. Sensitivity analysis of the artificial neural network outputs in simulation of the evaporation process at different climatologic regimes. *Advances in Engineering Software*, *47*(1), pp.127-146.

[17] Barsi, J.A., Barker, J.L. and Schott, J.R., 2003, July. An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. In *IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No. 03CH37477)* (Vol. 5, pp. 3014-3016). IEEE.

[18] Maleki, S., Mohajeri, S.H., Mehraein, M. and Sharafati, A., 2024. Lake evaporation in arid zones: Leveraging Landsat 8's water temperature retrieval and key meteorological drivers. *Journal of Environmental Management*, *355*.

[19] Sharaf, N., Fadel, A., Bresciani, M., Giardino, C., Lemaire, B.J., Slim, K., Faour, G. and Vinçon-Leite, B., 2019. Lake surface temperature retrieval from Landsat-8 and retrospective analysis in Karaoun Reservoir, Lebanon. *Journal of applied remote sensing*, *13*(4).

[20] Vanhellemont, Q., 2020. Automated water surface temperature retrieval from Landsat 8/TIRS. *Remote Sensing of Environment*, *237*.

[21] Du, C., Ren, H., Qin, Q., Meng, J. and Zhao, S., 2015. A practical split-window algorithm for estimating land surface temperature from Landsat 8 data. *Remote sensing*, *7*(1), pp.647-665.

[22] Penman, H.L., 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, *193*(1032), pp.120-145.

[23] Thornthwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, *38*(1), pp.55-94.

[24] Allen, R.G., Smith, M., Pereira, L.S., Raes, D. and Wright, J.L., 2000. Revised FAO procedures for calculating evapotranspiration: irrigation and drainage paper no. 56 with testing in Idaho. In *Watershed Management and Operations Management 2000* ,pp. 1-10.

[25] McMahon, T.A., Finlayson, B.L. and Peel, M.C., 2016. Historical developments of models for estimating evaporation using standard meteorological data. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, *3*(6), pp.788-818.

[26] Zhao, G., Gao, H. and Cai, X., 2020. Estimating lake temperature profile and evaporation losses by leveraging MODIS LST data. *Remote Sensing of Environment*, *251*.

[27] Abreham Kibret, A., 2009. Open water evaporation estimation using ground measurements and satellite remote sensing: a case study of lake Tana, Ethiopia.

[28] Anderson, T.R., Groffman, P.M. and Walter, M.T., 2015. Using a soil topographic index to distribute denitrification fluxes across a northeastern headwater catchment. *Journal of Hydrology*, *522*, pp.123-134.

[29] Beven, K.J., Kirkby, M.J., Schofield, N. and Tagg, A.F., 1984. Testing a physically-based flood forecasting model (TOPMODEL) for three UK catchments. *Journal of hydrology*, *69*(1-4), pp.119-143.

[30] Warburton, J., Holden, J. and Mills, A.J., 2004. Hydrological controls of surficial mass movements in peat. *Earth-Science Reviews*, *67*(1-2), pp.139-156.

[31] Bracken, L.J., Wainwright, J., Ali, G.A., Tetzlaff, D., Smith, M.W., Reaney, S.M. and Roy, A.G., 2013. Concepts of hydrological connectivity: Research approaches, pathways and future agendas. *Earth-Science Reviews*, *119*, pp.17-34.

[32] Thomas, I.A., Jordan, P., Mellander, P.E., Fenton, O., Shine, O., Ó hUallacháin, D., Creamer, R., McDonald, N.T., Dunlop, P. and Murphy, P.N., 2016. Improving the identification of hydrologically sensitive areas using LiDAR DEMs for the delineation and mitigation of critical source areas of diffuse pollution. *Science of the Total Environment*, *556*, pp.276-290.

[33] Mulualem, G.M. and Liou, Y.A., 2020. Application of artificial neural networks in forecasting a standardized precipitation evapotranspiration index for the Upper Blue Nile basin. *Water*, *12*(3), p.643.

[34] Garson, G.D., 1991. A comparison of neural network and expert systems algorithms with common multivariate procedures for analysis of social science data. *Social Science Computer Review*, *9*(3), pp.399-434.

[35] Garson GD. 1991. Interpreting neural-network connection weights. *AI expert*, *6*(4), pp.46-51.

[36] Goh, A.T., 1995. Back-propagation neural networks for modeling complex systems. *Artificial intelligence in engineering*, *9*(3), pp.143-151.