

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

سعید ملکی'، سیدحسین مهاجری"، مجتبی مهراًیین

۱. دانشآموخته دوره کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه¬های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی. ۲. دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی.

\* رايانامه نويسنده مسئول: hossein.mohajeri@khu.ac.ir

تاريخ دريافت: ١٤٠٢/١١/١٩ – تاريخ پذيرش: ١٤٠٣/٠٨/٣٠

#### چکیدہ

PM تبخیر از مغازن می تواند به کمک دمای به دست آمده از تصاویر ماهوارهای و دادههای هواشناسی اندازه گیری شده زمینی توسط روابط تجربی مشابه روش PA 56 FAO 56 محاسبه شود. همچنین، با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی می توان تاثیر ورودی های مختلف را روی یک خروجی مانند تبخیر بررسی نمود. به ایـن منظـور، در این تحقیق تاثیر شاخصهای محیطی مختلف روی تبخیر با برآورد درصد اهمیت نسبی آنها تعیین شده است. دسته اول ایـن معیارها، شاخصهای هواشناسی منطقه، شام سرعت باد، فشار هوا، رطوبت نسبی، تابش و دمای سطح آب مخازن است، و دسته دوم شاخصهای پیوستگی هیدرولوژیکی را نشان می دهد. پیوستگی هیدرولوژیکی را نشان می دهد. پیوستگی شمال سرعت باد، فشار هوا، رطوبت نسبی، تابش و دمای سطح آب مخازن است، و دسته دوم شاخصهای پیوستگی هیدرولوژیکی را نشان می دهد. پیوستگی هیدرولوژیکی به عنوان یکی از عوامل موثر در پدیده های هیدرولوژیکی و عناصر چرخه آب به کمک شاخص های آن یعنی شاخص طول جریان و شاخص رطوبت تو پرگرافیک تعریف و بررسی می شود. در این پژوهش، اهمیت نسبی معیارهای هواشناسی و شاخصهای پیوستگی در تبخیر تخمین زده شده از و شاخص رطوبت تو پرگرافیک تعریف و بررسی می شود. در این پژوهش، اهمیت نسبی معیارهای هواشناسی و شاخصهای پیوستگی در تبخیر تخمین زده شده از چاه نیمه هدرولوژیکی و عناصر چرخه آب به کمک شاخص های آن یعنی شاخص طول جریان و شاخص رطوبت تو پرگرافیک یعنی دوره وزش آن و هم چنین دوره خشکسالی و ترسالی، برآورد شده است. سبی سیتان و بلوچستان در شرایط هواشناسی مختلف، یعنی دوره وزش باده ۲۰ روز می باده می طول بریان به باز در ایل هواشناسی معیارهای هواشناسی نیز دمای سطح آب بیشتر از سایر معیارها موثرتر می بایل، برآورد شده سبی متعلق، بیان در شاخص همای پیوستگی روی تبخیر در در برایط هواشناسی نیز دمای سطح آب بیشتر از سایر معیارها موثرتر می بایل، برآورد شاخص های منده می معلق به مای طول بیشتر از می موزش آن و هم چنین دوره خشرایل، برآورد شاخص های منایل یو تنایل با سایل، برآورد شاخص های بیشترین در مای سطح آب بیشتر از سایل معیارها موثرتر می می بایل، بی تریل می می بیشترین درصد امی بسی منطول می معیل می موز تر می می بوان می موان می نیز دمای سطح آب بیشتر از سایل معیارها موثرتر می می وران می می وزن تنجه گرفت که تائیر مایست به مرایط می مربل مای و زش باد ۲۰۰ ترایلی نسبت به شرایط عدم وز ش آن در ۲

**کلمات کلیدی**: پیوستگی هیدرولوژیکی، تبخیر، دمای سطحی آب، شبکه عصبی مصنوعی، اهمیت نسبی، بادهای ۱۲۰ روزه.

#### ۱ – مقدمه

تبخیر <sup>۱</sup> 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 می تواند زمینه ساز شناخت و مدیریت بهتر منابع آب شود. در سالهای آینده، تعداد 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 قابل توجهی دارد [2, 1]. 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 می پذیرد. کمبود آب و وقوع بارندگی با توزیع نامناسب در این مناطق می تواند منجر به نرخ تبخیر بالا و نوسانات شدید سطح آب در محیطهای شامل آبهای راکد مانند مخازن شود [2]. در نتیجه بررسی عوامل موثر

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Evaporation

بر تبخیر در مناطق خشک اهمیت ویژهای پیدا میکند. در هیدرولوژی، استفاده از سنجش از دور ' با استفاده از مادون قرمز حرارتی ' برای تخمین تبخیر از جذابیت بالایی در تحقیقات و مطالعات برخوردار است. این روش شامل ترکیب اندازه گیریهای 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 می توان 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 شاخصـههـای مـوثر بـر چرخه هيدرولوژيکی منطقه، پيوستگی هيدرولوژيکی آرا مـی تـوان نام برد. اتصال یا پیوستگی هیدرولوژیکی به تماس مکانی، در دامنه های تپه ها، مناطق با قدرت رسانایی و هدایت کنندگی بـالا، و ساير عناصر طبيعت اشاره دارد [4]، اين مسئله در مباحث مربوط به مديريت و مهندسي آب، مانند انتقال رسوبات همراه با فرسايش خاک، و ارزیابی های زیست محیطی برای سیستم های دشت سیلابی بزرگ [5]، توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تغییر در اتصالات هیدرولوژیکی بـر مسـیر جریـان و انتقـال آلاینـده در مقیـاس،هـای مکـانی و زمـانی تـأثیر مـیگـذارد [4]، پیوسـتگی 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 کـه بیشـتر در ارزیـابی سیسـتم.هـای ژئومورفیـک ٔ اسـتفاده میشود، جفت یا زوج <sup>۵</sup> است که بر پیوند بین دو زیرسیستم <sup>۶</sup>، به ویژه در دامنه شیب و کانال تأکید میکند. اگر زیرسیستمها جفت شوند، انتقال رسوب ممكن 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

<sup>4</sup> Geomorphic

ممکن است در طول زمان در پاسخ بـه تغییـرات آب و هـوایی یـا مداخلات انسانی در حوضه، تغییر کنند [8].

برای بررسی پیوستگی هیـدرولوژیکی در یـک منطقـه بایـد شاخص های پیوستگی هیدرولوژیکی مناسب مانند شاخص طول جريان و شاخص رطوبت تويو گرافيک ( ا تعيين کرد. طول جريان فاصله هر نقطه از حوضه تا خروجي را منعكس ميكند. طول جریان (FL) اهمیت ویژگیهای توپوگرافی را در اتصال رواناب سطحي برجسته ميكند و به طور گسترده براي توصيف پيوستگي مناطق منبع رواناب سطحي استفاده شده است [6]. طول جريان، اتصال مناطق مختلف را با توجه به پوشش گیاهی و توپوگرافی منطقه اندازه گیری می کند. شاخص طول جریان به عنوان طول متوسط تمام مسیرهای بالقوه رواناب در منطقه هدف تعریف می شود. بنابراین، مقدار بالای شاخص، نشان دهنده اتصال هيدرولوژيكي بالاتر مناطق حوضه است. مقدار بالاتر طول جريان نشان دهنده طول متوسط بالاتر مسيرهاي رواناب و در نتيجه اتصال هيدرولوژيكي بالاتر است. طول جريان پتانسيل به عنوان يک متغير توضيحي براي بازدهي رواناب و رسوب توسط طيف وسيعي از تحقیقات مورد آزمایش قرار گرفته است [9]. طیف گستردهای از شاخص های رطوبتی مبتنبی بر توپوگرافی نیز ایجاد شدهاند. شاخص های رطوبتی اولیه بر این فرض تکیه میکردند که، توپوگرافی و ویژگیهای خاک، کنترلگرهای درجه اول و دوم آب کم عمق داخل خاک هستند. ویژگی های توپوگرافی اولیه مانند شيب سطح، مساحت شيب يا انحنا به صورت جداگانه يـا تركيبـي برای پیش بینی 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 شاخص های توپوگرافی ادغام شدهاند. افزایش در دسترس بودن مدل،های رقومیارتفاع منجر به توسعه شاخص های توپوگرافی پیچیدہتر شدہ است که رایج ترین آنہا شاخص رطوبت توپو گرافی (TWI) است، که در مدلی از بارش- رواناب ایجاد شده است [10]. شاخص رطوبت تويوگرافي، تغييرات مكاني و زماني رطوبت خاک و پتانسیل تشکیل رواناب سطحی را منعکس میکند و تغییرات توپوگرافی و تـأثیر آنهـا بـر روانـاب سـطحی را توصـيف

<sup>8</sup> Topographic wetness index (TWI)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Remote sensing

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Thermal infrared (TIR)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Hydrological connectivity

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Coupling

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Subsystems

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Flowlength (FL)

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> Digital elevation model (DEM)

میکند که نشاندهنده پیوستگی هیدرولوژیکی حوضه است [11, 7].

انتخاب روش مناسب برای تشخیص تـ أثیر ویژگـی، ای آب و هوایی منطقه و اتصال هیدرولوژیکی بر تبخیر اهمیت ویـژهای دارد. رویکردهای آماری مرسوم، مانند رگرسیون خطی چندگانه می توانند این اثر را با فرض یک مدل داده مناسب و تخمین پارامترهای مدل بر اساس دادهها، بررسي كنند [12]. با اين حال، معيارهاي هواشناسي منطقه و معیارهای پیوستگی هیـدرولوژیکی بـا یکـدیگر همبسـتگی زیادی دارند و متغیرهای مستقلی نیستند، در نتیجه در صورت استفاده از تکنیکهای رگرسیون چند متغیره مرسوم، نتایج گمراه کننده یا مغرضانه را به همراه دارد. ازمزایای یادگیری ماشینی، 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 همبسـتگی بـین متغیرهـای مسـتقل وجود ندارد [13]، شبکه عصبی مصنوعی می تواند برای تعیین اهمیت نسبی اتصال هیدرولوژیکی و ویژگے های منطقه در تبخیر مورد استفاده قرار بگیرد. این فرآیند می تواند با تشکیل یک شبکه از داده های موجود و تعیین تاثیر هر کدام از پارامترها در تشکیل این شبکه یعنی اهمیت نسبی ٔ هر متغیر انجام شود، هرچه اهمیت نسبی یک متغیر بیشتر باشد، تأثیر متغیر بر پیش بینی شبکه قوی تر است [14]. در گذشته تحقیقات بسیاری به تعیین اهمیت نسبی با شبکه عصبي مصنوعي يرداختهاند [15, 16].

#### ۲- اهداف

هدف اصلی این مطالعه، کشف تاثیر پیوستگی هیدرولوژیکی و بقیه ویژگیهای آب و هوایی منطقه بر تبخیر مخزن چاهنیمـههـا 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 می گیرد. مخازن چهار قسمتی چاهنیمه ها 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 چاهنیمه هارا نشان می دهد که از تصویر لندست ۸ در تاریخ ۲۴/۴/۲۰۱۳ به دست آمده است.

**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)

۲-۳- دادهها

داده های هواشناسی اندازه گیری شده زمینی شامل تابش یا تشعشع خالص روزانه (Rn)، سرعت باد (u) و فشار هوا (q) است، که به صورت روزانه از آپریل ۲۰۱۳ تا ژوئین ۲۰۲۱، مطابق با تاریخ تصاویر انتخابی از ایستگاه سینوپتیکی سازمان هواشناسی کشور در شهر زهک (مربع زرد در شکل ۱) در عرض جغرافیایی ۲۰/۹ درجه و طول جغرافیایی ۶۱/۶۸ درجه جمع آوری شده است. رطوبت نسبی (RH)، از حسابگر پارامتر تصحیح جوی<sup>۵</sup> موجود در (RH)، از حسابگر پارامتر است آمده است. این حسابگر از پروفایل های NCEP/GDAS و مدل انتقال تابشی MODTRAN استفاده میکند و به بیشترین و کمترین، میانگین، انحراف معیار و ضریب تغییرات برای هر پارامتر به کار رفته در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است. در این مطالعه، از تصاویر مجموعه یک<sup>3</sup> و سطح

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Multiple linear regression

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Machine learning

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Artificial neural network <sup>4</sup> Relative Importance (RI)

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Atmospheric correction parameter calculator

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Collection 1

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Level 1

۳–۳– روش تحقیق

شکل (۲). به طور مختصر چارچوب فرآیند تحقیق و بینشی از هر مرحله از فرآیند را ارائه می دهد. این تحقیق در چهار مرحله کلیدی سازمان دهی شده است: مرحله اولیه مستلزم جمع آوری 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 مقاله با مقادیر واقعی اندازه گیری شده ماهواره لندست ۸ برای تخمین دمای سطح آب استفاده شده است. پس از حذف تصاویر تحت تاثیر ابر، همه تصاویر باقی مانده در شرایط آسمان صاف برای چاه نیمه ها از آپریل ۲۰۱۳ تا ژوئن ۲۰۲۱ تهیه شد. این فرآیند در نهایت منجر به جمع آوری ۱۳۷ تصویر از وب سایت سازمان زمین شناسی ایـــــالات متحــده (USGS) بــــه آدرس ایـــالات متحـدان (http://www.earthexplorer.usgs.gov) 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



**شکل ۲**. فلوچارت مراحل انجام تحقیق به صورت خلاصه

Fig. 2. Flowchart of summarized research steps

ابزاری مناسب برای محاسبه دمای سطح آب، با استفاده از دو بانـد مادون قرمـز حرارتـی (بانـدهای ۱۰ و ۱۱) مـاهواره لندسـت ۸ در بسیاری از تحقیقات گذشـته اسـتفاده شـده اسـت [19]. الگـوریتم پنجره مجزا بر اساس معادله انتقال تـابش رادیواکتیـو (۲۰)، رابطـه (۱) را برای تکمیل فرآیند تصحیح پیشنهاد میکند [21].

تا به امروز بـه منظـور اسـتخراج دمـای سـطح آب از تصـاویر ماهوارهای، ترکیبی از ماهوارههای مختلف و روشهای مختلف بـه کار گرفته شده است، به عنوان نمونه تکنیک پنجره مجزا<sup>۱</sup> به عنوان

۳-۳-۱- بر آورد دما

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Split-window

می شود. روش FAO 56 PM یا فائو پنمن مانتیث یعنی رابط (2) به عنوان یک روش تشعشعی رایج برای تخمین تبخیر در بیشتر مناطق در نظر گرفته می شود [26-24]. لازم به ذکر است که شار گرمای روزانه آب<sup>۳</sup> اغلب متعادل، خنثی و مساوی صفر می شود، زیرا انرژی جذب شده در طول روز با تلفات شبانه جبران می شود [27]. در نتیجه ذخیره انرژی<sup>۴</sup> یا G دارای مقدار ناچیزی است که می توان 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 رابط ه (5) وثابت روان سنجی (سایکومتری<sup>۵</sup>) با رابطه (6) محاسبه می شود [3].

$$E = \frac{0.408 \times s \times (R_n - G) + \frac{\gamma \times 900 \times u \times (e_s - e_a)}{T + 273}}{s + \gamma \times (1 + 0.34 \times u)}$$
(7)  
$$e_s = 6.1078 \exp(\frac{17.269 \times T}{237.3 + T})$$
(7)

$$e_a = \frac{RH}{100} \times e_s \tag{(f)}$$

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

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

که در آن  $e_a e_a e_a$  فشار بخار و فشار بخار اشباع (kpa) هستند، T دمای سطح آب (C<sup>o</sup>) که برای دستیابی به نتیجه بهتر، دمای سطح آب مورد استفاده، متوسط دمای سطح آب در کل چاه نیمههاست، RH رطوبت نسبی (./)، E تبخیر (km/day)، سرعت باد (m/s)، Rn از دادههای هواشناسی، تابش خالص <sup>2</sup> (Imga)، و فشار هوا (kpa)، 8 شیب منحنی فشار بخار اشباع،  $\gamma$  ثابت روان سنجی هوا (hPa/°C)، L<sub>E</sub> (hPa/°C) و g 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<sup>۷</sup> با ابعاد ۳۰ متر از چاه نیمهها تهیه شده است. این تصویر در شکل (۳) به همراهی جانمایی چاهنیمهها قابل  $LST = b_{0} + \left(b_{1} + b_{2}\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_{3}\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^{2}}\right)\frac{T_{i} - T_{j}}{2}$   $+ \left(b_{4} + b_{5}\frac{1-\varepsilon}{\varepsilon} + b_{6}\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon^{2}}\right)\frac{T_{i} - T_{j}}{2} + b_{7}(T_{i} - T_{j})^{2}$   $\geq b_{1} < c_{1} < c_{2} < c_{2} < c_{3} < c_{4} < c_{4} < c_{5} < c_{4} < c_{4}$ 

گسیلندگی به معنای میانگین انتشار دو باند است گسیلندگی به معنای میانگین انتشار دو باند است  $\Delta \varepsilon = 0.5(\varepsilon_i + \varepsilon_j)$   $(\varepsilon = 0.9877 = 0.9926 = 0.9926$ ، و  $(\varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j)$   $\delta \varepsilon = \varepsilon_i - \varepsilon_j$ میباشد. هم چنین  $b_k$  ضرایب این الگوریتم است که با توجه به مطالعات گذشته متناسب با مقادیر ستون بخار آب<sup>7</sup> که از محاسبه گر پارامتر تصحیح اتمسفر ناسا مشابه RH به دست میآید، برآورد می شود و طبق مطالعات مذکور برای این شرایط در منطقه به صورت زیر است [12]:

 $b_0 = -2.78009, \ b_1 = 1.01408, \ b_2 = 0.15833, \ b_3 - 0.34991, \ b_4 = 4.04487, \ b_5 = 3.55414, \ b_6 = -8.88394, \ b_7 = 0.09152$ 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 محور دود، یعنی تنها به کمک خود تصویر انجام می شود و به ورودی دادههای خارجی اضافه متکی نیست [20]. این نرم افزار 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 می کند.

با استفاده از این تصاویر و با ادغام آن در رابطه (۱) بـه وسـیله کدنویسـی در MATLAB، بقیـه مراحـل محاسـبه دمـا پیمـایش میشوند که به استخراج نقشههای دمای سطح آب ختم میشود.

۳–۳–۲– بر آورد 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 اندازه گیریهای زمینی به دست آمده، بنا شده است. لازم به ذکر است که تبخیر بالقوه <sup>۲</sup> بیانگر بیشترین مقدار آبی است که میتواند بدون محدودیت از آب یا خاک تبخیر شود [23, 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

٣v

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Daily water heat flux

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Energy storage

<sup>&</sup>lt;sup>5</sup> Psychometric

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Net Radiation

<sup>&</sup>lt;sup>7</sup> Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Column water vapor

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Potential evaporation

مشاهده است. از دو معيار طول جريان و شاخص رطوبت توپوگرافی برای بررسی اتصال هیدرولوژیکی مخازن استفاده شد. طول جریان از پلاگین های ارائه شده در نرم افزار QGIS به دست می آید. این پلاگین ها طول پتانسیل مسیر رواناب از هر سلول را، در یک نقشه باینری با پیکسلهای خاک برهنه به عنوان منابع رواناب و پيكسل هاي يوشش گياهي به عنوان مخزن رواناب، محاسبه ميكند.

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 أو با در نظر گرفتن جهت نزولی تعیین شده از مدل ارتفاع دیجیتالی، روی نقشه باینری تعریف می شوند. بـر خـلاف پوشـش 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 پیکساهای همسایه یا در ارتفاع بالاترى قرار دارند يا پيشتر توسط أن مسير بازديد شدهاند. بنابراين، مسیر به گونهای محدود می شود 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 بـه یـک پیکسـل 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 پیکسل ها در ارتفاع و مقادیری که با زاویه شـیب افـزایش مىيابند، محاسبه مىشود. طول جريان با تصوير DEM موجود

که در آن TWI شاخص رطوبت توپوگرافیک، a سطح شیب محل در واحد طول (ناحیه شیب ویژه<sup>۳</sup>) در مبنای متـر، و β زاویـه شیب سطح محل در مبنای درجـه اسـت. α مقـدار آبـی را نشـان می دهد که به سمت یک مکان خاص جریان می یابد در حالی که  $\beta$ انتقال جانبی زیرسطحی را منعکس میکند [26]. در واقع در این رابطه با استفاده از پارامترهای توپوگرافی ساده مانند α و β منـاطق با رطوبت بالای خاک که احتمالاً به دلیل اشباع خاک به جریان سطحي كمك ميكنند، مشخص مي شوند [29, 30] مناطق خطي بـا مقادیر TWI به طور مداوم بالا به عنوان مسیرهای بالقوه رواناب سطحی در نظر گرفته می شوند، که نشاندهنده اتصال سطحی بین بخش های بالای شیب و پایین شیب است. تکه های جدا شده با مقادیر TWI بالا نشاندهنده سینکهای هیدرولوژیکی محلی هستند، که در آن آب ورودی یا ذخیره می شود و به آرامی توسط تبخیر از بین میرود، یا به زیرسطح هـدایت مـیشـود [31, 32] در این تحقیق برای تعیین شاخص TWI ابتدا با استفاده از تصویر مدل ارتفاعی دیجیتالی در نـرم افـزار QGIS و بـا دسـتور Slop تصـویر شیب منطقه یعنی مقادیر β به دست میآید، سپس این تصویر شیب که مقادیر آن بـر مبنـای درجـه مـیباشـند بـه تصـویری در واحـد رادیانس تبدیل می شود، که با کمک پلاگین Flow Accumulation تبديل به تصوير مقادير α مىشود. سپس با كد نويسي رابطـه (7) در Raster Calculator، مقادير TWI محاسبه مي شود.

## ۳-۳-۴ بر آورد اهمیت نسبی

در این تحقیق از ANN برای بررسی میـزان تـأثیر ورودیهـای 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 شبكه، انجام میشود. سازماندهی ساختار ANN شامل

Binary map

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Single flow direction (SFD)

Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2025-01-30 DOI: 10.22034/25.1.33

DOI: 10.22034/25.1.33

لايههاي ورودي ، ينهان و خروجي است. هر لايه شامل واحدهای به هم پیوستهای است که به عنوان نورون<sup>۴</sup> شناخته می شوند. در مرحله آزمایش °، ساختار شبکه بر اساس ویژگی های 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 ٔ ضرب می شوند. سپس این ورودی های وزندار با عبارات بایاس<sup>۷</sup> جمع میشوند و از یک تابع فعال سازی عبور میکننـد کـه 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 وزن ها استفاده می کند که خطا را به کمترین می رساند [33]. روش گارسون وزن های متصل کننده نورون های پنهان به نورونهای خروجی را تشریح میکند و اجزای خاصبی را به هر نورون ورودی نسبت میدهد. این تجزیه به هـر متغیـر یک مقدار منحصر به فرد اختصاص میدهد تا رابطه آن با متغیر پاسخ روشن شود. روش گارسون يعني رابط ه (8) روشـي بـراي تقسـيم وزن اتصالات شبكه عصبي به منظور تعيين اهميت نسبي هر متغير ورودي در شبكه مي باشد [34, 35].

$$RI_{i} = \sum_{i=1}^{n} \frac{|W_{ij}W_{jk}|}{\sum_{j=1}^{m} |W_{ij}W_{jk}|}$$
(A)

که در آن *RI<sub>i</sub>* اهمیت نسبی پارامتر i (هـ پارامتر) در تبخیر، *W<sub>ij</sub>* وزن اتصال بین هر ورودی و لایه های پنهان، *W<sub>jk</sub>* وزن اتصال بین لایه پنهان و خروجی، j تعداد کل لایه های پنهان و k تعداد لایه های خروجی است. ایـن الگوریتم اهمیت نسبی هـ ر 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 ورودی های مـدل تبخیر در سناریوهای مختلف اقلیمی، یعنی دوره های وزش باد ۱۲۰ روزه و عدم وزش آن و هم چنین دوره های خشکسالی و ترسالی

- Inputs layers
- <sup>2</sup> Hidden layers
- <sup>3</sup> Output layers
- <sup>4</sup> Neurons
- <sup>5</sup> Training
- <sup>6</sup> Adjustable weights
- <sup>7</sup> Bias terms

ماههای ژوئن، جولای و آگوست بیشتر از بقیه ماههای سال می باشد و به بیش از ده متردر ثانیه می رسد که نشان دهنده وزش باد ۱۲۰ روزه در این بازه زمانی می باشد. با توجه به این نتایج می توان داده های هواشناسی ورودی و خروجی شبکه را به دو دسته تقسیم نمود. یک شبکه با استفاده از دادههایی تشکیل می شود که در روزهای وزش باد ۱۲۰ روزه قرار دارند و شبکه دیگر بـرای دادههایی کـه در دسـته روزهـای عـدم وزش بـاد ۱۲۰ روزه قـرار می گیرند. از همین رویه برای تعیین دوره ترسالی^ و خشکسالی<sup>۹</sup> نيز استفاده مي شود. همان طور كه در شكل (۴) قسمت (ب) قابل مشاهده است، میانگین نسبت دبی ورودی آب به چاه نیمهها به کل حجم مخزن برای هر ماه از سال های 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، می باشد. در نتیجه می توان دو شبکه مصنوعی مجزا یکی با استفاده از داده ایی که در محدوده روزهای خشکسالی سال قرار می گیرند و دیگری با داده ایی که مختص به روزهای محدوده ترسالی می باشند، تشکیل داد.

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 می باشد، مقادیر سرعت باد در

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Flood discharge periods (FDPs)

<sup>&</sup>lt;sup>9</sup> 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)



**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- نتايج

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 نیمه ها نشان می دهد. با توجه به شکل می توان مقادیر بالای TWI و مقادیر پایین FL را در محل قرار گیری چاه نیمه ها به عنوان سینک تو پوگرافیک محل مشاهده نمود. هم چنین محل قرار گیری رودخانه ورودی به چاه نیمه ها قابل تشخیص می باشد.

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





همان طور که در شکل (۶) قابل مشاهده است، در دورههای FDPs (دورههای تخلیه سیل و دبی زیاد جریان) اهمیت نسبی برای FDPs (دورههای تخلیه سیل و دبی زیاد جریان) اهمیت نسبی برای FDPs (دورههای TWI به ترتیب به این صورت می باشد: ۷۹٫۹۴٪. در ۲۹٫۹۴٪ و ۲۹٫۹۴٪ و ۲۹٫۹۴٪. در دورههای دورههای ذخیره آب و دبی کم جریان) این درصدهای اهمیت نسبی به ترتیب به این صورت می باشند: ۲۹٫۹۶٪.

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





با توجه به شکل (۷) می توان دریافت که برای روزهایی از سال که باد ۱۲۰ روزه اتفاق می افتد، اهمیت نسبی شاخص های ذکر شده به ترتیب به این صورت می باشد: ۱۲,۰۲٪، ۵٫۳۵٪، ۱۴٫۳۴٪، ۲٫۴۵٪، ۲۰٫۷۱٪، ۱۹٫۹۹٪ و ۲۲٫۱۴٪. برای روزهایی از سال که باد ۱۲۰ روزه نمی وزد نیز به صورت زیر می باشد: ۱۰٫۷۱٪، ۱۰٫۷٪، ۹٫۲۱٪، ۹٫۲۱٪، ۲۴٫۷۷٪ و ۲۷٫۲۱٪. دوره ۲۵، شماره ۱، سال ۱۴۰۴

شاخصهای هواشناسی روی مقادیر تبخیر دارند. در حالی که در دورههای خشکسالی تاثیر این دو دسته شاخص تقریبا برابر می شود. می توان گفت که تاثیر شاخصهای پیوستگی روی تبخیر در دورههای ترسالی نسبت به دورههای خشکسالی ۵٪ پیشتر است. که می تواند ناشی از احتمال بیشتر جریان رواناب در دورههای ترسالی باشد. در قسمت (ب) شکل (۸) نیز می توان 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 FL ،T ،p ،u ،RH ،Rn 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



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

با توجه به شکل (۸) قسمت (الف) می توان مشاهده نمود که اهمیت نسبی ترکیبی برای ویژگی های آب و هوایی منطقه یعنی مجموع درصد اهمیت نسبی پارامترهای هواشناسی یعنی nR، u مجموع درصد اهمیت نسبی پارامترهای هواشناسی یعنی nR، U RH و T درطول ۲۵۹۶ ۲۵۹۶ و برای مجموع درصد اهمیتهای نسبی معیارهای اتصال هیدرولوژیکی یعنی FL و TWI اهمیتهای نسبی معیارهای اتصال هیدرولوژیکی یعنی ۲۰ و ۲۰ ۸۶٫۸۱ است، اما این مقادیر در دوره WSPs به ترتیب ۵۰٫۲۰ ٪ و ۲۹٫۸۰ است. در قسمت (ب) نیز مشاهده می شود که اهمیت نسبی ترکیبی ویژگی های آب و هوایی منطقه در محدودهای از سال که باد ترکیبی ویژگی های آب و هوایی منطقه در محدودهای از سال که باد ۱۲۰ روزه اتفاق می افتد ۵۷٫۸۷٪ و برای مجموع معیارهای اتصال هیدرولوژیکی ۲۲۰٫۱۳ است اما در بخشی از سال که باد ۱۲۰ روزه اتفاق نمی افتد این مقادیر به ترتیب ۴۸٫۰۴٪ و ۵۱٫۹۷٪ است.

#### ۵- بحث

شکل (۶) نشان می دهد که در دوره ترسالی FL ،TWI، و دمای سطح آب به ترتیب بیشترین تاثیر را روی تبخیر داشتهاند، در حالی که p،Rn،u و RH در مرتبه های بعدی قرار می گیرند. به همین شکل مشاهده می شود که در دوره های خشکسالی مجددا سه رتبه اول متعلق بــه FL ، TWI، و T مــي باشــد، و p ،u ، Rn و R در رتبههای بعدی قرار دارند. شکل (۷) نیز نشان میدهد که در دورههای وزش باد ۱۲۰ روزه T ،TWI ، و FL بیشترین تـاثیر را روی تبخیر دارند، و RH ، Rn ،u و p به ترتیب در رتبه های بعدی هستند. در شرایطی که باد ۱۲۰ روزه رخ نمی دهد نیز FL ،TWI، و T به ترتیب بیشترین تاثیر را روی مقادیر تبخیر دارند، سپس در رتبههای بعدی p،u،Rn و RH قرار می گیرند. از بررسی این دو شکل می توان نتیجه گرفت که TWI موثر ترین شاخص بر مقادیر تبخیر در همه شرایط هدیرولوژیکی می باشد و بعد از آن دیگر شاخص پیوستگی هیدرولوژیکی یعنی FL تاثیر زیادی از خود نشان می دهـد. به طور کلبی شاخص های پیوستگی از شاخص های هواشناسی اهمیت نسبی بیشتری در تبخیر دارند. در بین شاخص های هواشناسی دمای سطح آب از دیگر شاخص،ها تاثیر بیشتری در تبخیر دارد. همین طور می توان 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 می شود که در دوره های ترسالی شاخص های پیوستگی هیدرولوژیکی تاثیر بیشتری از

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

نکته قابل توجه در مورد محل این مطالعه، ویژگی های خاص فیزیوگرافی آن، شیب پایین سطح زمین های اطراف، و وجود زمین های مسطح می باشد، که می تواند با تغییر شاخص های پیوستگی هیدرولوژیکی تاثیر بالایی در تبخیر منطقه از خود نشان دهد. به علاوه این منطقه رسوب گذاری بالایی دارد، که در مواقعی که دبی کمتری مشاهده می شود، بیشتر رسوب ها در جای خود ته نشینی می شوند که این امر در کنار وجود ریزگردهای زیاد در منطقه می تواند 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 می تواند تاییدی بر تاثیر زیاد پیوستگی هیدرولوژیکی و شاخصه های آن در این منطقه با این شرایط خاص باشد.

## ۶- نتیجه گیری

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 هیـدرولوژیکی بـه کمـک ابزارهای مناسبی مانند شبکه عصبی مصنوعی می توانند اطلاعات مناسبی در زمینه شرایط هیدرولوژیکی محیط ارائه دهنـد. در ایـن یژوهش تاثیر بالای پیوستگی هیدرولوژیکی در تبخیر با تعیین اهمیت نسبی معیارها نشان داده شد. شاخص های پیوستگی در شرایط اقلیمی و هیدرولوژیکی مختلف مانند وزش و عدم وزش باد ۱۲۰ روزه و دوره های ترسالی و خشکسالی اهمیت نسبی بالا و در نتیجه تاثیر زیادی در تبخیر از خود نشان دادند. تاثیر زیاد شاخص های پیوستگی هیدرولوژیکی بر تبخیر به علت فیزیو گرافی خاص این منطقه قابل توجیه است. وجود شیب کم و زمین های مسطح زیاد که به صورت تغییر در شاخص های پیوستگی هیدرولوژیکی نمود پیدا میکند، تاثیر بالایی در نرخ و حجم تبخیر مناطق گرم و خشکی همچون منطقه قرارگیری چاهنیمـههـا دارنـد. همچنین عنصر باد در دوره ای وزش باد ۱۲۰ روزه بیشتر از روزهای دیگر سال تاثیر خود را روی تبخیر اعمال می کند، در

حالی که بین عناصر هواشناسی، دمای سطح آب دریاچـه بیشـترین 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.

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.

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

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

Saeid Maleki<sup>1</sup>, Seyed Hossein Mohajeri<sup>2\*</sup>, Mojtaba Mehraein<sup>2</sup>

1. Graduated Master Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University

2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University

\* Corresponding Author Email: hossein.mohajeri@khu.ac.ir

Received: 2024/08/02 - Accepted: 2024/11/20

#### 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.

**Keywords:** Hydrological connectivity, Evaporation, Water surface temperature, Artificial neural network, Relative importance, Wind of 120 days.