



Evaporation control from the water surface using silica nanostructure material (Case study: Karkheh Dam Lake)

Katayoon Sataryan Asil¹ | Hossein Yousefi² | Fatemeh Razi Astarai^{3*}

1. MSc. In Echohydrology, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Iran. Email: k.sataryanasil@ut.ac.ir
2. College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Iran. Email: Hosseinyousefi@ut.ac.ir
3. Corresponding Author, College of Interdisciplinary Science and Technology, University of Tehran, Iran. Email: razias_m@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received May 23, 2023
Revised August 24, 2023
Accepted October 24, 2023
Published online 14 February 2024

Keywords:

*Water resource management,
Evaporation Reduction,
Optimization,
Adaptive neural fuzzy inference
system (ANFIS).*

ABSTRACT

Due to global warming and the increase in the population of the planet, maintaining and protecting available water resources is very important. One of the factors that has caused the reduction of water resources today is the increase in the rate of evaporation from the level of water stored in water resources. In this study, using the experimental results obtained from the work of Sina Bashir et al., the evaporation rate of the lake behind the Karkheh Dam has been modeled. This modeling has been done using the neural-adaptive fuzzy inference system. The approach of this system is considered the Mamdani approach in this modeling because this approach has a very good performance in modeling dynamic and natural processes such as evaporation. According to the laboratory results, in the presence of silica nanostructured material at 28, 32 and 40 degrees Celsius and wind conditions of 4 meters per second (similar to the prevailing wind around the Karkheh dam), the evaporation rate decreases by 33, 32 and 30%, respectively. In this modeling, the rate of reduction of evaporation is entered into the modeling as a coefficient according to the laboratory results, and as a result, the rate of evaporation obtained is the result of the decrease in the presence of nanostructured material. In this modeling, considering the creation of a nanostructured thermal insulation cover for only 20% of the lake surface, 2 million cubic meters of water can be saved and saved.

Cite this article: Sataryan Asil, K.; Yousefi, H. & Razi Astarai, F. (2024). Evaporation control from the water surface using silica nanostructure material (Case study: Karkheh Dam Lake). *ECO HYDROLOGY*. 10 (4), 545-553. Doi: doi.org/10.22059/ije.2024.368966.1776



© Katayoon Sataryan Asil, Hossein Yousefi, Fatemeh Razi Astarai
Publisher: University of Tehran Press.
DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.368966.1776>



انتشارات دانشگاه تهران

کنترل تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از ماده نانو ساختار سیلیکا (مطالعه موردی: دریاچه پشت سد کرخه)

کتابون ستاریان اصیل^۱ | حسین یوسفی^۲ | فاطمه راضی آستارایی^{۳*}

۱. کارشناس ارشد اکوهیدرولوژی، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: k.sataryanasil@ut.ac.ir

۲. دانشیار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: Hosseinyousefi@ut.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده‌گان علوم و فناوری‌های میان‌رشته‌ای، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: raziyas_m@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۸/۰۲

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۲/۲۵

کلیدواژه:

مدیریت منابع آب،

کاهش تبخیر،

بهبودسازی،

سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی

(ANFIS).

با توجه به گرمایش جهانی و افزایش جمعیت کره زمین، نگهداری و حفاظت از منابع آبی در دسترس امری بسیار مهم است. یکی از عواملی که امروزه باعث کاهش منابع آبی شده، افزایش میزان نرخ تبخیر از سطح در منابع آبی است. در این بررسی با استفاده از نتایج آزمایشی حاصل از کار سينا بشير و همکاران اقدام به میزان تبخیر دریاچه پشت سد کرخه شده است. این مدل‌سازی با بهره‌گیری از سیستم استنتاج فازی عصبی- تطبیقی انجام شده است. رویکرد این سیستم در این مدل‌سازی رویکرد مددانی در نظر گرفته شده است، زیرا این رویکرد عملکرد بسیار خوبی در مدل‌سازی فرایندهای پویا و طبیعی مانند تبخیر را دارد. طبق نتایج آزمایشگاهی در حضور ماده نانو ساختار سیلیکا در دمای ۲۸، ۳۲ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط باد ۴ متر بر ثانیه (مشابه باد غالب در اطراف سد کرخه) میزان تبخیر به ترتیب ۳۳، ۳۲ و ۳۰ درصد کاهش می‌یابد. در این مدل‌سازی میزان درصد کاهش تبخیر را طبق نتایج آزمایشگاهی به صورت ضریب به مدل‌سازی وارد می‌شود. در نتیجه، میزان نرخ تبخیر به دست آمده نهایی مقداری است که در نتیجه حضور ماده نانو تبخیر می‌شود. در این مدل‌سازی با در نظر گرفتن ایجاد پوشش عایق حرارتی نانو ساختاری فقط برای ۲۰ درصد از سطح دریاچه می‌توان میزان ۲ میلیون متر مکعب آب را ذخیره و صرفه‌جویی کرد.

استناد: ستاریان اصیل، کتابون؛ یوسفی، حسین و راضی آستارایی، فاطمه (۱۴۰۲). کنترل تبخیر از سطح آزاد آب با استفاده از ماده نانو ساختار سیلیکا (مطالعه موردی: دریاچه پشت سد کرخه). اکوهیدرولوژی، ۱۰ (۴) ۵۴۵-۵۵۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.368966.1776>

© کتابون ستاریان اصیل، حسین یوسفی، فاطمه راضی آستارایی. ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ije.2024.368966.1776>



مقدمه

در شرایط کنونی، تحت تأثیر گرمایش جهانی و در نتیجه آن طولانی و شدید شدن دوره‌های خشکسالی و از طرفی، برداشت‌های بیش از اندازه از منابع آبی همگی باعث کمبود میزان آب در دسترس شده است. در چنین شرایطی حراست و نگهداری بهینه از این منابع با ارزش بسیار مهم است. تبخیر به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر چرخه هیدرولوژی است [۱]. تحت تأثیر افزایش دما میزان تبخیر نیز افزایش پیدا می‌کند. اتلاف تبخیر به معنای آبی است که سرانجام از منبع موجود از بین می‌رود. از این رو نیاز به تأکید بیشتر در به حداقل رساندن خسارت‌های گسترده ناشی از تبخیر است. کنترل تبخیر از آب‌های مستقر در خشکی، یکی از استراتژی‌های اصلی حفظ آب باقی‌مانده است. این امر در مناطق خشک، که کمبود آب در حال حاضر یک مشکل رایج است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند [2]. شناسایی و کنترل تلفات آب غیر از مصارف زراعی از موارد مهم در مدیریت آب آبیاری است. تبخیر از آب انبارها نامطلوب و غیر قابل بازیابی است، نمایانگر بخش مهمی از آب ذخیره‌شده، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است [۳]. افزایش ظرفیت ذخیره آب شیرین برای پاسخ‌گویی به تقاضای روزافزون از دلایل اصلی تحقیقات گسترده در حوزه مدیریت منابع آبی به شمار می‌رود [۴]. امروزه با روش‌های مختلف تلاش شده تا میزان نرخ تبخیر کاهش پیدا کند. یکی از این روش‌ها استفاده از مواد نانو ساختار است. تحقیقات زیادی در مورد تأثیر ماده نانو در کاهش تبخیر صورت گرفته است. بنت‌الهدی اصلانی و محمد موقیان (۲۰۱۲) در مقاله‌ای به بررسی کاهش و افزایش توانایی تبخیر نانو ساختارها و اثربخشی آن‌ها پرداختند که در این مقاله سرعت تبخیر نانو سیالات را در غلظت‌های مختلف توسط دستگاه‌های آزمایشی، در سرعت‌های مختلف هوا اندازه‌گیری کردند آن‌ها دریافتند که TiO_2 به کاهش و رس به افزایش، میزان تبخیر مایع پایه آن‌ها (آب دیونیزه) کمک می‌کند. نانوذرات Ni / Fe سرعت تبخیر مایعات پایه را کاهش می‌دهند. کارایی کاهش (افزایش) تبخیر وابستگی زیادی به غلظت ذرات نانو دارد [۵]. محمدمهدی احدیان (۲۰۲۱) در مقاله‌ای تأثیر رویکرد نانو فناوری بر میزان کاهش ۵۰ درصدی از سطح آب را مورد بررسی قرار داد. استفاده از اکسید گرافن با سورفکتانت کارآمدی آن را بالاتر می‌برد زیرا سورفکتانت نقش کلیدی در پخش یکنواخت نانو مواد روی سطح دارد. همچنین تحقیقات نشان داد با افزایش بیشتر ضخامت لایه‌ها تأثیر چندانی بر میزان تبخیر مشاهده نشده در نتیجه از لحاظ اقتصادی این ضخامت برای کاربرد بهینه است [۶]. تأثیر نانوذرات مغناطیسی Fe تا حد زیادی به نوع مخزن بستگی دارد. علاوه بر این، بر باروری خاک و رشد گیاه تأثیر منفی نخواهد گذاشت. همچنین، از رشد جلبک‌ها جلوگیری می‌کند. علاوه بر این، جذب اتمی انجام‌شده خصوصیات غیر سمی و سالم مواد را تأیید می‌کند [۷]. از طرفی، به دلیل مقاومت حرارتی بالا از انتقال گرما به آب جلوگیری می‌کند. با این وجود، مهم‌ترین مسئله این است که نانوذرات به راحتی در آب نفوذ می‌کنند. در این حالت، کاهش دمای آب غیرممکن به نظر می‌رسد، بنابراین یافتن ماده‌ای که بتواند ذرات نانو را در سطح آب نگه دارد بدون ضرر برای مصارف شرب و کشاورزی ضروری است. بهترین مواد برای این استفاده روغن جوجوبا است زیرا منشأ زیستی دارد [۷]. امیر نجاتیان و همکاران به بررسی تأثیر پوشش‌های نانومتری بر میزان تبخیر دریاچه چیتگر پرداخته است و روند این مقاله امکان‌سنجی استفاده از تک‌لایه‌های خود چین حاوی مولکول‌های بلند است که به کاهش تبخیر از سطح آب این دریاچه منجر می‌شود. محصول یادشده با کاهش فشار نسبی تبخیر در بالای سطح آب، به کاهش میزان تبخیر منجر می‌شود این محصول قابل تجزیه بیولوژیکی بوده و باید هر ۲-۴ روز یک‌بار بسته به شرایط مجدد به کار برده شود. این محصول کاملاً قابل تجزیه و در طبیعت، غیر سمی، با قابلیت نفوذ اکسیژن است. در سطح جهانی به عنوان یک روش شیمیایی مناسب برای استفاده در منابع آب آشامیدنی ثبت شده و در لیست برنامه‌های محیطی سازمان ملل متحد به عنوان یک تکنولوژی سالم قرار گرفته است. در نهایت با بررسی انواع مختلف پوشش‌های استفاده‌شده بهترین عملکرد که به میزان ۵۰ درصد در جلوگیری از تبخیر و با طول عمر حدود ۲/۵ روز، مربوط به پوشش با نسبت ۱:۳ استئاریل الکل (Stearyl alcohol) و ستیل الکل (Cetyl alcohol) است [۸].

پوشش نانوذرات (TiO_2) برای کاهش میزان تبخیر آب پشت سدها در نظر گرفته شده است. بر این اساس، نانوذرات TiO_2 دوپ نقره ابتدا با استفاده از اسید استتاریک (SA) آبریز شدند. نتایج تجزیه و تحلیل نشان داد ماده سنتز شده به اندازه کافی آبریز است. سپس، سطح آب تبخیر شده در هر دو شرایط آزمایشگاهی و محیطی در سه حالت سطح آب بدون پوشش، سطح آب

پوشیده شده با نانو ذرات TiO_2 دوپ نقره آگریز و آب پوشانده شده با هگزادکانول (به عنوان پوشش مرجع) اندازه گیری شد. نانوذرات هیدروفوبیک نقره دوپ شده TiO_2 عملکرد بهتری نسبت به هگزادکانول در کاهش میزان تبخیر دارند و به دلیل پایداری بالا و عدم آلودگی می توانند جایگزین مناسبی برای هگزادکانول باشند. فعالیت ضد باکتریایی و خواص فوتوکاتالیستی برای نانوذرات TiO_2 دوپ نقره آگریز باعث جذابیت آن از هر ماده دیگری شده است [۹]. به طور کلی، نمونه های سنتز شده و ایده استفاده از پوشش کاهش تبخیر در سطح آب ایده جدید و مفیدی است که علاوه بر افزودن خواص فوتوکاتالیستی و ضد باکتریایی به پوشش مورد نظر، عدم رسوب و کاهش آلودگی سطحی، تبخیر را نیز کاهش می دهد مشابه مورد رایج هگزادکانول. این روش حتی به صرفه است و نیازی به تمیزکاری ندارد. هگزادکانول باید هر سه روز تجدید شود، در حالی که نمونه سنتز شده مورد بحث برای بیش از ۱۰۰ روز قابل تجدید نیست و پایدار است [۹]. در ادامه گزیده ای از مطالعات انجام شده در زمینه محاسبه نرخ تبخیر با بهره گیری از علوم نوین هوش مصنوعی آورده شده است. شیرینی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی کاربرد سیستم استنتاج عصبی فازی تطبیقی ANFIS تحت شرایطی که تعداد پارامترهای ورودی عوامل هواشناسی متغی باشد مقایسه کردند. نتایج نشان داد عملکرد بهتری نسبت به تحلیل رگرسیون چندخطی (MLR) دارد. در صورتی که تعداد پارامترها محدود شوند نیز نتایج کاربردی تری خواهند داشت [۱۰]. فلاح علوی با کمک همکاران با ادغام روش های تحلیلی و مدل سازی مختلف برای هر ماه میزان تبخیر را پیش بینی کردند. طبق مدل سازی های انجام شده مشخص کردند که کارایی RBF_NN بهتر از ANFIS است [۱۱]. دمیرچی و همکاران در این بررسی نشان دادند ظرفیت مخزن در روش تحلیلی عصبی فازی NF عملکرد بهتری تا تحلیل رگرسیون چندخطی (MLR) دارند [۱۲]. صالح و همکاران در این مقاله عملکرد CANFIS را با سه مدل هوش مصنوعی ANFIS، SVR، RBF_NN در تخمین میزان تبخیر با استفاده از ۵ پارامتر متداول اقلیمی مقایسه کردند. این مطالعه نشان داد SVR و RBF_NN نیاز به حداقل ۴ پارامتر دارند در حالی که ANFIS و CANFIS فقط با دو پارامتر دما و رطوبت نسبی دقت خوبی در برآورد تبخیر نشان می دهند. در بین این دو مدل با اختلاف ۹/۲ درصدی توانایی پیش بینی تبخیر در CANFIS نسبت به ANFIS بیشتر است [۱۳]. بار دیگر در سال ۲۰۲۱ بر اساس بررسی های انجام شده توسط قومن و همکاران به ترتیب ANFIS، ANN، معادله پنمن و هامون دارای اولویت و عملکرد بهتری برای پیش بینی تبخیر از تست هستند. مدل ANFIS عملکرد بالایی در پیش بینی تبخیر پان دارد [۱۴]. شاهی و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله ای نشان دادند با افزایش تعداد ورودی ها (پارامترهای هواشناسی) به سیستم شبکه عصبی عملکرد مدل بهبود پیدا می کند [۱۵]. قومن و همکاران در مطالعه ای با مقایسه مدل هایی برای شبیه سازی تبخیر پان با کمک معادلات پنمن و هامون، شبکه های عصبی مصنوعی (ANN) و سیستم استنتاج فازی عصبی مصنوعی (ANFIS) دریافتند نتایج شبیه سازی ANFIS بهتر از معادلات ANN و Penman و Hamon است [۱۰]. از طرفی نتایج نشان داد زمانی پارامترهای حداقل و حداکثر دما، میانگین رطوبت نسبی، سرعت باد، ساعت های آفتابی و فشار، به شبکه وارد شود، میزان تبخیر برآورده شده نسبت به سایر شرایط برتری دارد [۱۱]. همان طور که در موارد گفته شده بررسی شد، آزمایشی که با شرایط بسیار نزدیک به شرایط دریاچه پشت سد کرخه به استفاده از ماده نانو پرداخته باشد، مطالعه انجام شده توسط سینا بشیر است که در ادامه توضیح مناسبی از آن ارائه خواهد شد. در این بررسی هدف کنترل میزان تبخیر از سطح آب دریاچه سد کرخه است و برای میزان حجم آب ذخیره شده به وسیله کنترل میزان نرخ تبخیر با کمک نانو ساختار سیلیکا را برآورد می کند. به منظور محقق ساختن این هدف از نرم افزار متلب با و شبکه ANFIS با رویکرد ممدانی استفاده شده است. در این پژوهش توانایی این سیستم برای مدل سازی خروجی هایی که دارای شرایط غیر خطی هستند مانند عوامل اقلیمی بخصوص تبخیر بررسی شده است.

در مطالعه پیش رو به انتخاب مدل مناسب برای محاسبه نرخ تبخیر و همچنین، بهینه سازی تابع عوامل مؤثر در تبخیر برای کاهش میزان آن با توجه به خصوصیات ماده نانو پرداخته شده است.

منطقه مورد مطالعه

در این مطالعه به بررسی موردی کنترل تبخیر از دریاچه پشت سد کرخه پرداخته شده است. میزان متوسط بارش سالیانه در محل سد حدود ۲۹۱ میلی متر است. متوسط سالیانه دمای هوا در محل سد حدود ۲۵ درجه سانتی گراد و بالاترین و پایین ترین دما

به ترتیب ۴- و ۵۴ درجه سانتی‌گراد است. متوسط تبخیر سالیانه از سطح آزاد آب حدود ۲۰۷۹ میلی‌متر است و میزان رطوبت نسبی سالیانه حدود ۴۵/۵ درصد است. تعداد روزهای یخبندان در محل طرح معادل ۴/۵ روز در سال است. سرعت متوسط باد ۲/۵ متر بر ثانیه و حداکثر آن ۴۱ متر بر ثانیه با جهت غالب غرب بوده است. تعداد ساعات‌های آفتابی به طور متوسط ۲۷۶۳ ساعت در سال است [۱۶].



شکل ۱. نقشه موقعیت حوضه آبریز سد کرخه در ایران

مواد و روش تحقیق

به منظور هدف این مطالعه، برای تعیین بهترین سیستم مدل‌سازی و تخمین نرخ تبخیر با استفاده از هوش مصنوعی نیاز به بررسی پارامترهای مؤثر هواشناسی در فرایند تبخیر است. نمونه داده‌ها شامل داده‌های روزانه ۹ سال (۱۳۹۱-۱۴۰۰) رکوردهای روزانه حداکثر و حداقل دما هوا (T_{max} و T_{min} و $^{\circ}C$)، میانگین رطوبت نسبی ($\%Rh$)، سرعت باد روی تشت تبخیر ($W, m/d$)، تبخیر تشت (PE ، میلی‌متر) است [۱۷]. اطلاعات داده‌های مورد نیاز به وسیله نرم‌افزار SPSS به روش میانگین‌گیری از نزدیک‌ترین‌ها بازسازی و تکمیل شد. برای اطلاع بهتر از شرایط محیطی سد کرخه از داده‌های هواشناسی ایستگاه موجود در دفتر فنی کنترل سد کرخه استفاده شده است. در این ایستگاه برای تعیین دما از دماسنج و همچنین، برای تعیین میزان رطوبت نسبی از دماسنج خشک و تر و روابط موجود بین آن‌ها برای برآورد رطوبت نسبی استفاده شده است. میزان تبخیر از تشت با استفاده از فرمول استاندارد ۱ و با در نظر گرفتن وقوع بارش و حجم آب اضافه‌شده به تشت برآورد شده است.

$$E = K(E_{pan}) \quad (1)$$

در این معادله E تبخیر از سطح آزاد آب در مخازن یا دریاچه‌ها، E_{pan} مقدار تبخیر از تشت و K ضریب ثابتی است که مقدار آن برای تشت تبخیر استاندارد کلاس A (امریکایی) بین ۰/۵۸ تا ۰/۷۸ (به طور متوسط ۰/۷) است.

مطالعه حاضر از نتیجه پژوهش‌های سینا بشیر و همکاران [۱۴] در بررسی مقدار کاهش تبخیر در مقابل درصدهای مختلف غلظت ماده نانو ساختار سیلیکا استفاده شده است. در پژوهش مرجع ابتدا درصدهای حجمی مختلف از میزان مواد نانو در سیال پایه آب تهیه شده است. دلیل استفاده از درصدهای حجمی متفاوت به منظور بررسی و تعیین تأثیر غلظت ماده نانو ساختار سیلیکا در کاهش تبخیر است. در نهایت در صد حجمی ۰/۰۲ درصد حجمی مناسب نانو ساختار سیلیکا است. این آزمایش با فرض اینکه مهم‌ترین عوامل در افزایش میزان تبخیر میزان وزش باد و دما است، در سه دمای مشخص در دو سرعت باد مختلف میزان کاهش را به دست آورده است. با افزایش غلظت ماده نانو میزان کاهش تبخیر نیز افزایش پیدا می‌کند. قابل ذکر است که طبق

نتایج تحقیقات آن‌ها، همچنین با افزایش دمای هوا نیز روند کاهشی تبخیر نیز کاهش می‌یابد. با توجه به خاصیت ماده نانو سیلیکا که از انتقال حرارتی دما به لایه‌های پایینی آب جلوگیری می‌کند می‌توان از تأثیر عمق آب صرف نظر کرد. به منظور کنترل دقیق شرایط آزمایشگاهی (میزان سرعت باد و دما) میزان تبخیر از سطح آب در حضور ماده نانو در مقابل تونل باد سنجیده شده است. بررسی تأثیر باد در دو حالت ۴ متر بر ثانیه و ۸ متر بر ثانیه و میزان تأثیر دمای هوا بر تبخیر از سطح آب با وجود پوشش نانو ساختار سیلیکا پرداخته است. در پژوهش مرجع میزان تبخیر کاهش یافته در دماهای ۲۸، ۳۲ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد بررسی شده است. با توجه به منطقه مطالعاتی حداکثر دما به ۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، در نتیجه دماهای مورد بررسی با توجه به شرایط محیطی بسیار قابل انطباق است. از طرفی، در محیط سد کرخه حداکثر میزان سرعت باد ۳۳۳۷۰۰ متر بر روز است که معادل ۳/۸ متر بر ثانیه می‌شود، حال با توجه به تطبیق شرایط آزمایشی و محیط مورد مطالعه فقط از نتایج حاصل از آزمایش‌ها در باد ۴ متر بر ثانیه استفاده شده است.

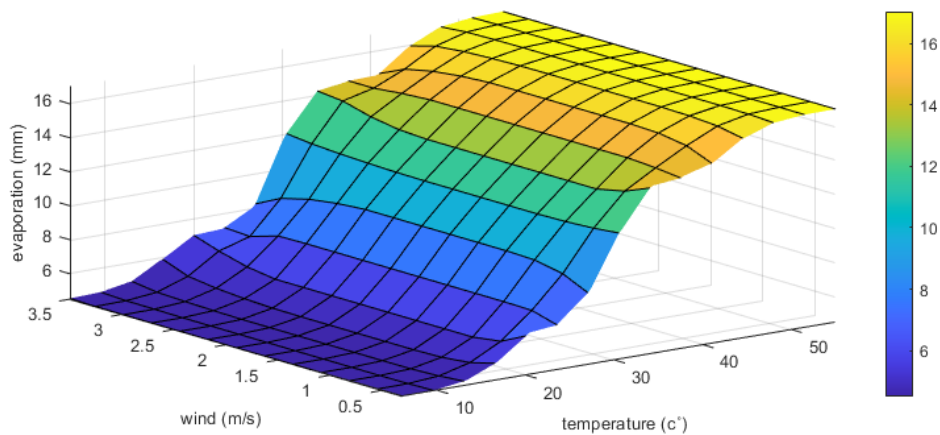
روش ANFIS

برای برآزش از اطلاعات آزمایشگاهی با محیط طبیعی مورد مطالعه از روش ANFIS استفاده شده است. برای برآزش از اطلاعات آزمایشگاهی با محیط طبیعی مورد مطالعه از روش ANFIS استفاده شده است. سیستم استنتاج فازی یک روشی برای پیدا کردن ارتباط بین بردارهای ورودی و خروجی است. در این روش براساس مجموعه‌ای از قوانین که بر مقادیر بردار ورودی اعمال می‌شود، بردار خروجی مقداردهی می‌شود. در این بررسی استنتاج فازی ابتدا در حالت *sogeno* با ورودی‌های مشابه شبکه عصبی مصنوعی بررسی شده است. سپس در ساختار این شبکه، باد و دمای بیشینه به عنوان تأثیرگذارترین پارامترها بر افزایش میزان تبخیر به عنوان ورودی شبکه استنتاج فازی در حالت مددانی و تبخیر به عنوان خروجی در نظر گرفته شد. ANFIS ادغام شبکه‌های عصبی و منطق فازی است و پتانسیل این را دارد که از مزایای هر دو این زمینه‌ها در یک چارچوب واحد بهترین حالت شبکه را ترسیم کند. در منطق فازی گزاره‌ای کاملاً درست یا غلط نیستند، بلکه دارای درجه درستی هستند. (رفرنس) ANFIS از اطلاعات زبانی منطق فازی و همچنین، توانایی یادگیری یک شبکه عصبی مصنوعی برای تولید خودکار قواعد اگر-آن‌گاه فازی و بهینه‌سازی پارامتر استفاده می‌کند [۱۸].

الگوریتم استنتاج مددانی

با توجه به این موضوع که در این بخش هدف از مدل‌سازی تعیین میزان تبخیر است و با در نظر گرفتن حالت فازی تمام پدیده‌های فیزیکی و همچنین، نیاز به در نظر گرفتن محدوده‌ای برای هر پارامتر مؤثر در تبخیر از رویکرد مددانی استفاده شده است. در سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی برای داده‌های ورودی و خروجی محدوده‌ای تعیین می‌شود. این محدوده براساس مطالعه آزمایشگاهی تعیین شده است.

در رویکرد مددانی قوانینی بر اساس بهینه‌سازی خروجی شبکه نوشته می‌شود. بهترین ویژگی این رویکرد قابلیت وزن‌دهی به هر قانون است. در مطالعه انجام‌شده با توجه به این موضوع که هر شرایطی در آزمایشی درصد مشخصی کاهش تبخیر به دنبال داشته است، در نتیجه این میزان کاهش را در قالب وزن آن شرایط در خلال قوانین به شبکه داده خواهد شد. در این سیستم دما به عنوان ورودی در سه محدوده $28^{\circ}C - 1^{\circ}C$ ، $32^{\circ}C - 29^{\circ}C$ و $40^{\circ}C - 33^{\circ}C$ به ترتیب به عنوان، متوسط (moderate)، گرم (warm) و بسیار گرم با داغ (hot) در نظر گرفته می‌شود، زیرا نیاز است داده‌ها بر مبنای متغیر زبانی تعریف شوند. بر اساس این موضوع میزان تبخیر نیز در محدوده خیلی کم (۰-۳)، کم (۳/۱-۹)، متوسط (۹/۱-۱۴)، زیاد (۱۴/۱-۲۰)، خیلی زیاد (۲۰/۱-۲۶/۳) دسته‌بندی می‌شود. قابل ذکر است که میزان تبخیری که به وسیله مدل در اختیار قرار می‌گیرد، همواره جوابی بهینه است، زیرا سیستم استنتاج فازی-عصبی تطبیقی ترکیبی از الگوریتم Hybrid و الگوریتم غالب مدل‌سازی بهینه است. شکل ۲ نمایی از برنامه‌نویسی روش ANFIS برای برآورد میزان تبخیر پس از استفاده از ماده نانو نشان می‌دهد.



شکل ۲. ساختار شبکه ANFIS

در شبکه ANFIS برنامه نویسی شده قوانین سیستم استنتاج فازی- عصبی تطبیقی بر اساس زیر کدنویسی شده است:

1. If (temperature is hot) and (wind is low) then (evaporation is high) (0.7)
2. If (temperature is warm) and (wind is low) then (evaporation is moderate) (0.68)
3. If (temperature is moderate) and (wind is low) then (evaporation is low) (0.67)
4. If (temperature is moderate) and (wind is low) then (evaporation is very low) (0.67)

به این ترتیب در صورتی که دما در محدوده داغ باشد و باد در محدوده پایین میزان تبخیر بالا با ضریب ۰/۷ میزان تبخیر با پوشش نانو ساختار می شود.

برای به دست آوردن حجم آبی است که سالانه بر اثر تبخیر از دست می رود، از معادله ۲ استفاده شده است. در این معادله از میانگین ماهانه نرخ تبخیر استفاده شده است. محاسبه حجم آب از دست رفته ناشی از تبخیر در معادله ۲: [۱۹]

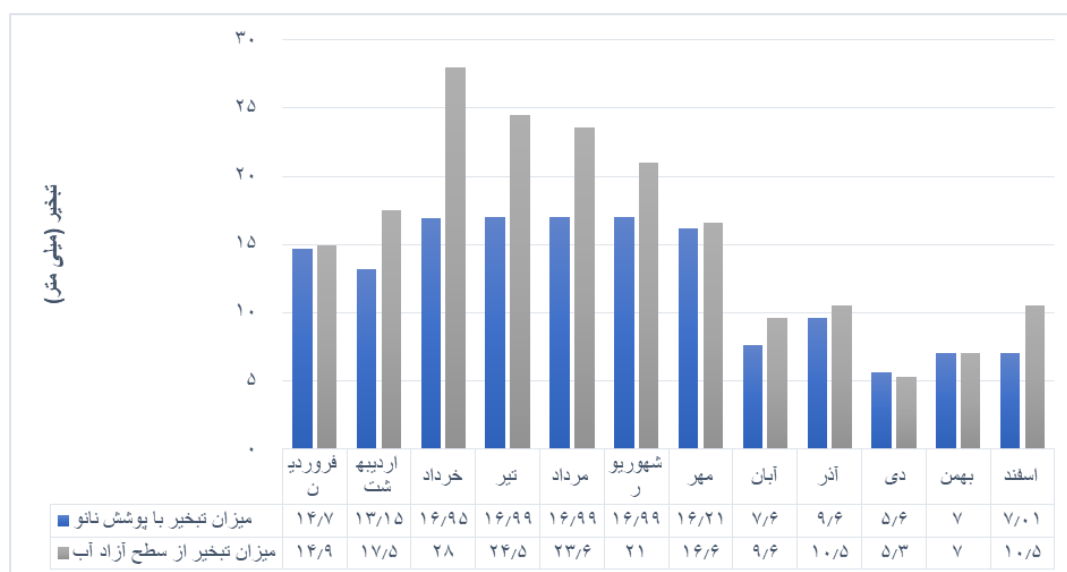
$$V = E.A.\frac{365}{10^6} \quad (2)$$

در معادله یادشده: V: حجم تلفات سالانه آب (میلیارد متر مکعب در سال)؛ E: نرخ تبخیر (میلی متر در روز)؛ A: مساحت سطح (کیلومتر مربع).

نتایج و بحث

بر اساس سیستم ANFIS میزان تبخیر برآوردشده به شرح شکل ۳ است که با توجه به درصد کاهش تعیین شده در آزمایشگاه میزان نرخ تبخیر نهایی برآورد شده است. براساس فرضیات اولیه مشخص شده است که ماده نانو در شرایط خاص دمایی و در مقابل سرعت باد مشخص تا چه میزان می تواند میزان تبخیر را کاهش دهد. در این مدل سازی همین روند برای دریاچه سطح کرخه انجام شده است که نشان می دهد میزان ذخیره نهایی آب حاصل از کنترل تبخیر چه میزانی است. میزان تبخیر از سطح آب با پوشش نانو در سال ۱۴۰۰ در شکل ۳ و مقایسه ای از میزان تبخیر در شرایط حضور و با عدم حضور ماده نانو در شکل ۳ آورده شده است. شبکه ANFIS قابلیت لازم برای مدل سازی شرایط کنترل تبخیر را دارد در نتیجه می توان در آن بحث های برآورد کارایی موارد کنترل کننده تبخیر استفاده کرد. روی سد کرخه، مدل سازی برای کاهش تبخیر با استفاده از هوش مصنوعی انجام نشده است، ولی براساس تحقیقات صورت گرفته در شرایطی که از نظر هواشناسی و هیدرولوژیکی مشابه هستند، سیستم استنتاج فازی می تواند شرایطی که عوامل ورودی پارامترهای هواشناسی هستند به خوبی مدل سازی کند [۱۰] و همچنین نتایج این بررسی با نتیجه بررسی های صورت گرفته با تعیین اولویت برای داده های ورودی توانسته شرایط طبیعی را مدل کند [۱۳] و [۱۴]. با توجه به میزان تبخیر ماهانه در حضور ماده نانو در سال ۱۴۰۰ با توجه به (فرمول ۷) میزان آب ذخیره (۷ میلیون متر مکعب در سال) است. در نتیجه با اضافه کردن این ماده به فقط ۲۰ درصد از سطح دریاچه پشت سد کرخه به مساحت ۳۲/۵۴

کیلومتر مربع در مقایسه با تبخیر از سطح آب بدون پوشش (۹ میلیون متر مکعب در سال) می‌توان میزان ۲ میلیون متر مکعب در سال آب را فقط از طریق جلوگیری از هدررفت از طریق تبخیر ذخیره کرد.



شکل ۳. نمودار میزان شرایط حضور و با عدم حضور ماده نانو در سال ۱۴۰۰

نتیجه‌گیری

با استفاده از نتایج آزمایشگاهی بررسی تأثیر ماده نانو سیلیکا بر میزان تبخیر با در نظر گرفتن دو عامل مؤثر در تبخیر (دما و باد) میزان تبخیر در شرایط حضور ماده نانو با تأثیر کاهشی بر میزان تبخیر از سطح بدون پوشش محاسبه شد. سپس به مدل‌سازی و بهینه‌سازی تبخیر سطح آزاد سد کرخه با فرض پوشش ماده نانو پرداخته شده است. البته باید این موضوع را در نظر گرفت که در این تحقیق برخی از عوامل مؤثر روی تبخیر در نظر گرفته نشده، مانند میزان درصد رطوبت نسبی که در میزان کاهش تبخیر تأثیرگذار است. در نتیجه با اضافه کردن این ماده به فقط ۲۰ درصد از سطح دریاچه پشت سد کرخه به مساحت ۳۲/۵۴ کیلومتر مربع می‌توان میزان ۲ میلیون متر مکعب در سال آب را فقط از طریق جلوگیری از هدررفت از طریق تبخیر ذخیره کرد. این در حالی است که طبق گزارش مدیرکل روابط عمومی شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور هر نفر در ایران روزانه ۰/۲۲۴ متر مکعب آب مصرف می‌کند. از این نظر میزان آب ذخیره‌شده می‌تواند مصرف آب یک سال ۲۴ هزار و ۴۶۱ نفر را تأمین کند.

منابع

- [1]. PILGRIM D. H., CHAPMAN T. G., and DORAN D. G., 'Problems of rainfall-runoff modelling in arid and semiarid regions', *Hydrological Sciences Journal*, vol. 33, no. 4, 1988, doi: 10.1080/02626668809491261.
- [2]. '(No Title)'. <http://cwc.gov.in/sites/default/files/evaporation-control-in-reservoirs.pdf> (accessed Jun. 12, 2021).
- [3]. Gallego-Elvira B., Baille A., Martín-Gorrioz B., Maestre-Valero J. F., and Martínez-Alvarez V., 'Evaluation of evaporation estimation methods for a covered reservoir in a semi-arid climate (south-eastern Spain)', *J Hydrol (Amst)*, vol. 458–459, pp. 59–67, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.06.035.
- [4]. Assouline S., Narkis K., and Or D., 'Evaporation suppression from water reservoirs: Efficiency considerations of partial covers', *Water Resour Res*, vol. 47, no. 7, 2011, doi: 10.1029/2010WR009889.
- [5]. Moghiman M. and Aslani B., 'Influence of nanoparticles on reducing and enhancing evaporation mass transfer and its efficiency', *Int J Heat Mass Transf*, vol. 61, no. 1, pp. 114–118, Jun. 2013, doi: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2013.01.057.
- [6]. Ahmadian MM. Reduce evaporation of water resources using nanomaterials. Sea Regional Conference, Development and Water Resources of the Persian Gulf. 2014; <https://sid.ir/paper/842555/en> (in persian)
- [7]. Omolbani M. R. P., Zarindast N., Mir N., and Dehghani A. A., 'Using fe magnetic nanoparticles for reducing evaporation from water surface in small scale', *Desalination Water Treat*, vol. 71, pp. 380–387, Apr. 2017, doi: 10.5004/dwt.2017.20178.
- [8]. Nejatian AA, Iraj Zad A, Tajrishi M, Dolabi M. Investigating the Impact of Nanometric Coatings on the Evaporation of Lake Chitgar. 6th Regional Climate Change Conference, Tehran. 2019; <https://civilica.com/doc/1002676> (in persian)
- [9]. Ghahramani Jajin R., Feizi A., and Ghorbanpour M., 'Reduction of Water Evaporation from Dam Reservoirs Using Hydrophobic Silver- Doped Titanium Dioxide Nanoparticles Coating', *Water Resour Res*, vol. 57, no. 5, p. e2020WR029231, May 2021, doi: 10.1029/2020wr029231.
- [10]. J. Shiri, W. Dierickx, A. Pour-Ali Baba, S. Neamati, and M. A. Ghorbani, "Estimating daily pan evaporation from climatic data of the State of Illinois, USA using adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS) and artificial neural network (ANN)," *Hydrology Research*, vol. 42, no. 6, pp. 491–502, 2011, doi: 10.2166/nh.2011.020.
- [11]. Allawi M. F. and El-Shafie A., "Utilizing RBF-NN and ANFIS Methods for Multi-Lead ahead Prediction Model of Evaporation from Reservoir," *Water Resources Management*, vol. 30, no. 13, pp. 4773–4788, Oct. 2016, doi: 10.1007/s11269-016-1452-1.
- [12]. Demirci M., Unes F., Kaya Y. Z., Tasar B., and Varcin H., "MODELING OF DAM RESERVOIR VOLUME USING ADAPTIVE NEURO FUZZY METHOD." [Online]. Available: https://waterdata.usgs.gov/nwis/dv/?referred_module=qw
- [13]. Malik A. et al., "Daily pan-evaporation estimation in different agro-climatic zones using novel hybrid support vector regression optimized by Salp swarm algorithm in conjunction with gamma test," *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, vol. 15, no. 1, pp. 1075–1094, 2021, doi: 10.1080/19942060.2021.1942990.
- [14]. Ghumman A. R. et al., 'Simulation of pan-evaporation using penman and hamon equations and artificial intelligence techniques', *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 6, Mar. 2021, doi: 10.3390/w13060793.
- [15]. Shahi S., Mousavi S. F., and Hosseini K., 'Simulation of pan evaporation rate by ANN artificial intelligence model in Damghan region', *Journal of Soft Computing in Civil Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 75–87, 2021, doi: 10.22115/SCCE.2021.286933.1321.
- [16]. Ashraf Vaghefi S., Mousavi S. J., Abbaspour K. C., Srinivasan R., and Yang H., 'Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran', *Hydrol Process*, vol. 28, no. 4, 2014, doi: 10.1002/hyp.9747.
- [17]. Deepika S., Osman M., Kumar M., anoranjana & Sandeep H., 'Suppressing Evaporation from Surface Water Reservoirs: A Review'. *Journal of Agricultural Engineering*. (2021). 57. 259-273. '(PDF) Suppressing Evaporation from Surface Water Reservoirs: A Review'. https://www.researchgate.net/publication/350431860_Suppressing_Evaporation_from_Surface_Water_Reservoirs_A_Review (accessed Jun. 13, 2021).
- [18]. Bashir S, Seifullah SAD, Rostamian SH. Investigating the Effect of Silica Nano Fluids on Reducing Water Evaporation. Third National Conference on Applied Mechanical Engineering. ; <https://civilica.com/doc/1158052/certificate/print/> (in persian)
- [19]. Jang J.-S. R., 'ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system', *IEEE Trans Syst Man Cybern*, vol. 23, no. 3, pp. 665–685, 1993, doi: 10.1109/21.256541.
- [20]. Abd-Elhamid H. F., Ahmed A., Zelenakova M., Vranayova Z., and Fathy I., 'Reservoir management by reducing evaporation using floating photovoltaic system: A case study of lake Nasser, Egypt', *Water (Switzerland)*, vol. 13, no. 6, p. 769, Mar. 2021, doi: 10.3390/w13060769.