Archive of SID.ir

دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک

دورهٔ دهم، شمارهٔ یکم (بهار و تابستان ۱۴۰۳)؛ صفحات ۳۴-۲۵

مقالهٔ پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1403.10.1.3.5

درصد همانندی: ۸٪

بررسی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون با مدل‌های هیبریدی مبتنی بر رگرسیون بردار پشتیبان

حمیدرضا باباعلی[۱*]، ابراهیم نوحانی[۲]، رضا دهقانی[۳]

[۱*] نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خرم‌آباد، خرم آباد، ایران. h.babaali@khoiar.ac.ir

[۲] استادیار گروه عمران، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران. ebrahim.nohani@iau.ac.ir

[۳] دکترای علوم و مهندسی آب، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان لرستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، خرم‌آباد، ایران. r.dehghani@areeo.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۲۹ **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۳/۰۹/۲۵ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۱۰/۱۰

چکیده

اکسیژن برای حفظ تعادل چرخه زندگی در هر جنبه بسیار مهم است. زندگی آبزیان به شدت تحت تأثیر سطوح اکسیژن محلول (DO) است .این امر نه تنها مستلزم نظارت مداوم DO در سیستم‌های آبی است، بلکه نیاز به ایجاد یک مدل پیش‌بینی دقیق برای سطوح آتی DO دارد .هدف این مطالعه ارائه یک مدل پیش‌بینی دقیق برای غلظت DO است .بدین منظور در این پژوهش یک مدل هوشمند ترکیبی جدید مبتنی بر رویکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان برای پیش‌بینی اکسیژن محلول در آب رودخانه توسعه داده شد. بدین منظور در این پژوهش از سه الگوریتم بهینه‌سازی شامل کرم شب‌تاب، گرگ خاکستری و خفاش برای مدل‌سازی اکسیژن محلول در آب رودخانه بکار برده شد. جهت مدل‌سازی از آمار و اطلاعات ایستگاه هیدرومتری ملاثانی واقع در رودخانه کارون استان خوزستان بعنوان مطالعه موردی طی ۵ سناریو ترکیبی از پارامترهای ورودی در سال‌های ۱۳۹۲-۱۴۰۲ استفاده شد. به منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا و ضریب نش ساتکلیف استفاده شد. نتایج نشان داد سناریوهای ترکیبی در مدل‌های مورد بررسی باعث بهبود عملکرد مدل می‌شود. همچنین نتایج حاصل از معیار ارزیابی نشان داد مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب دارای ضریب همبستگی ۰/۹۷۰ ، ریشه میانگین مرعات خطا (mg/l) ۰/۶۶۸ ، میانگین قدر مطلق خطا (mg/l) ۰/۵۲۰ و ضریب نش ساتکلیف ۰/۹۷۵ در مرحله صحت سنجی برخوردار است. در مجموع نتایج نشان داد استفاده از مدل‌های هوشمند مبتنی بر رویکرد رگرسیون بردار پشتیبان می‌تواند رویکردی موثر در پایداری مهندسی رودخانه باشد.

کلمات کلیدی: اکسیژن محلول در آب، رگرسیون بردار پشتیبان، کارون، مدل‌سازی.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۱.مقدمه

همان‌طور که مشخص است، کیفیت آب (WQ) تابع پیچیده ای از عوامل مختلف محیطی و انسانی در هر حوضه است. مدیریت صحیح WQ وظیفه بسیار مهمی برای مهندسان و تصمیم گیرندگان است[۱]. اکسیژن محلول (DO) یک پارامتر WQ حیاتی برای بررسی سلامت آب و زندگی آبزیان است[۲]. در حالی که مطالعات در سال‌های گذشته بیشتر بر روی روش‌های اندازه‌گیری مستقیم (یعنی اندازه‌گیری‌های درجا) متمرکز شده‌اند، مطالعات اخیر نشان داده‌اند که تکنیک‌های غیرمستقیم مانند هوش مصنوعی (AI) می‌توانند جایگزین‌های ارزان‌تر و محاسباتی قوی‌تری برای پیش‌بینی پارامترهای محیطی ارائه کنند [۳-۵]. همان‌طور که مشخص است، دستیابی به یک روش پیش‌بینی مناسب برای پارامترهای کیفیت آب مانند اکسیژن محلول (DO) به دلیل تأثیر آن‌ها بر حفظ سلامت آبزیان و مدیریت مخازن، بسیار مهم است. محدودیت‌هایی مانند تأثیر عوامل محیطی مختلف بر غلظت DO بسیاری از محققان را به جایگزینی مدل‌های مرسوم با تکنیک‌های هوشمند مصنوعی پیچیده سوق داده است [۶و۷]. بنابراین امروزه از مدل‌های هوش مصنوعی به دلیل ماهیت غیر خطی بودن و کاهش زمان جهت پیش‌بینی مسائل هیدرولوژیکی به‌ویژه مهندسی رودخانه از جمله تخمین میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه بیشتر مورد توجه قرار گرفته است که به‌صورت مختصر به چندین مورد اشاره می‌گردد. آزما و همکاران [۸] در پژوهشی به‌منظور پیش‌بینی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه روک کرک واقع در ایالات متحده از روش هوش مصنوعی هیبریدی مبتنی بر مدل شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند نتایج نشان داد مدل هیبریدی شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های منفرد عملکرد بهتری در تخمین میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه دارد. دهقانی و همکارن [۹] در پژوهشی به‌منظور پیش‌بینی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه اس تی جانز واقع در ایالت کالیفرنیا از مدل هیبریدی مبتنی بر رگرسیون بردار پشتیبان با الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده کردند نتایج نشان داد مدل هیبریدی جدید رگرسیون بردار پشتیبان-تفنگدار خلاق نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی از جمله ازدحام مرغ ، اسکی و پیرسون از دقت بیشتری برخوردار است. ناکار و همکاران [۱۰] در پژوهشی جهت پیش‌بینی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه کالاماس ایالات متحده از مدل هیبریدی هوش مصنوعی مبتنی بر شبکه عصبی مصنوعی استفاده کردند نتایج نشان داد روش ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی نسبت به روش منفرد از دقت بهتر و خطای ناچیزی برخوردار است. بائو و همکاران [۱۱] در پژوهشی به‌منظور پیش‌بینی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه سوف واقع در ایالت کالیفرنیا از مدل هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان با الگوریتم‌های تکامل دیفرانسیل و گرگ خاکستری استفاده نمودند نتایج نشان داد مدل رگرسیون بردار پشتیبان-گرگ خاکستری از عملکرد بهتری نسبت به مدل منفرد و هیبریدی مورد بررسی برخوردار است.

در مجموع با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، مدل هوش مصنوعی رگرسیون بردار پشتیبان بعنوان ابزاری کارآمد در برآورد میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه‌ها و مسائل هیدرولوژیکی است. امروزه به‌منظور افزایش کارایی و بهبود عملکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان، از ترکیب این مدل با الگوریتم‌های فراابتکاری بعنوان یک راهکاری مناسب جهت پیش‌بینی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه‌ها استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز از مدل‌های هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب، رگرسیون بردار پشتیبان-گرگ خاکستری و رگرسیون بردار پشتیبان-خفاش جهت تخمین اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون واقع در استان خوزستان استفاده شد. رودخانه کارون استان خوزستان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های غرب کشور ایران است. این رودخانه در رشد و نمو محصولات کشاورزی، تولید محصولات آبزی، موقعیت جغرافیایی و گردشگری تاثیر بسزایی دارد. همچنین این رودخانه در طی سال‌های اخیر با مخاطره جدی آلودگی مواجه شده است و این امر سبب کاهش تولید محصولات کشاورزی و کاهش درآمد اقتصادی ساکنین این حوضه آبریز می‌گردد. بنابراین تحلیل و بررسی اکسیژن محلول در اب این رودخانه امری لازم و ضروری است. از طرف دیگر اگرچه استفاده از مدل رگرسیون بردار پشتیبان بطور گسترده برای تخمین میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه‌ها استفاده شده است. تاکنون پژوهشی در زمینه استفاده و مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری گرگ خاکستری، کرم شب‌تاب و خفاش در این رودخانه انجام نشده است. بنابراین در این پژوهش از الگوریتم‌های بهینه‌سازی با هدف ترکیب با مدل رگرسیون بردار پشتیبان

Archive of SID.ir

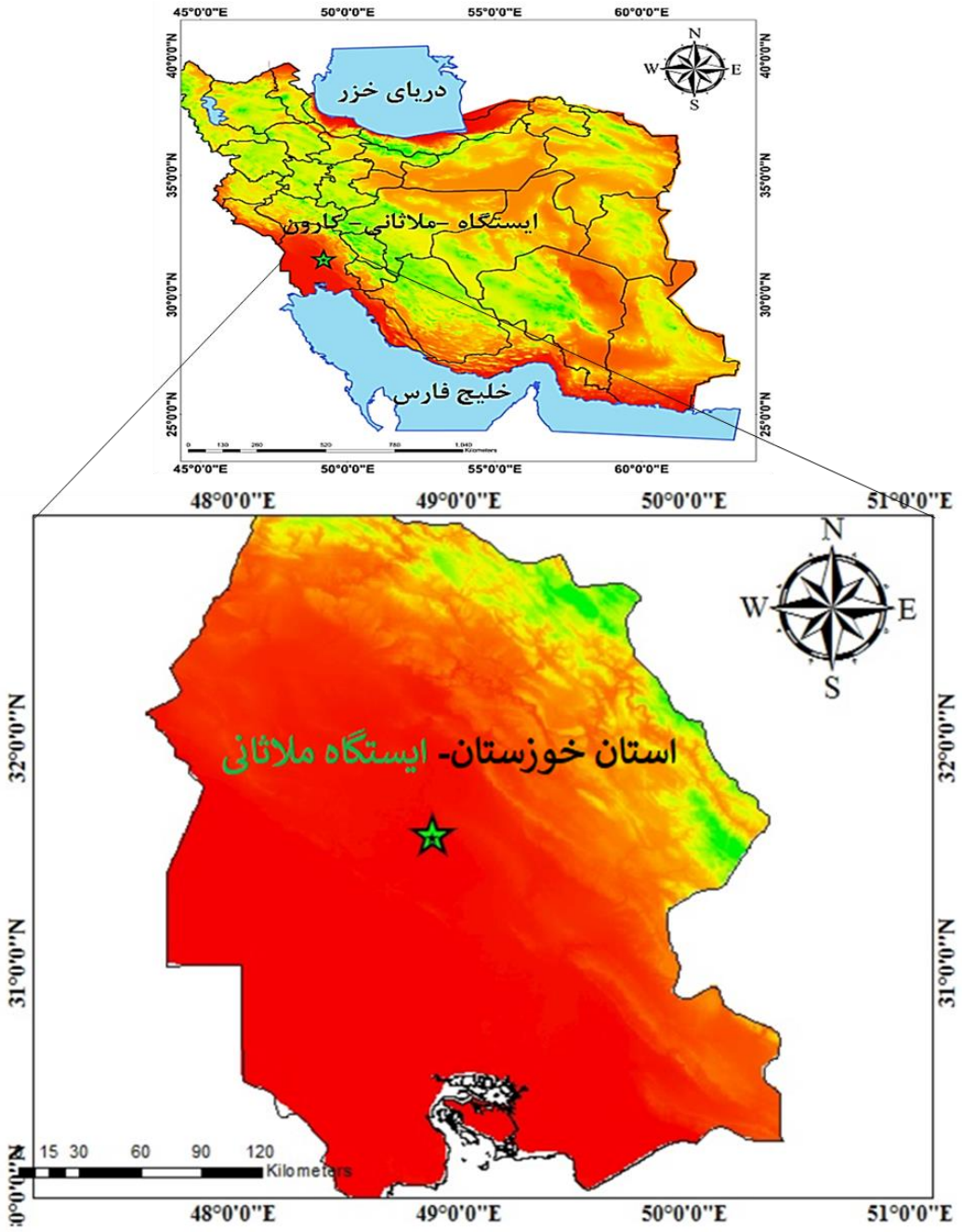
Archive of SID.ir

برای برآورد میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون استفاده شد.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون پرآب‌ترین، بزرگ‌ترین و طولانی‌ترین رودخانه ایران است، که از زردکوه در استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه گرفته و سپس رودهای بهشت آباد، رود بازفت، رود کوهرنگ، رودخانه سبزکوه، رودخانه ارمند و رودخانه خرسان به آن افزوده می‌شوند و سرانجام در خلیج فارس آرام می‌گیرد. در این پژوهش از آمار و اطلاعات ایستگاه ملاثانی در این حوضه ابریز، که دارای دوره آماری دزار مدت و فاقد داده گم شده است، استفاده شد. این ایستگاه در طول جغرافیایی ۴۰ ′ ۵۲ ° ۴۸ درجه شمالی و عرض‌های جغرافیایی ″ ۰۱ ′ ۳۵ °۳۱ در جهت شرقی واقع شده است که در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲-۲. رگرسیون بردار پشتیبان

رگرسیون بردار پشتیبان یکی از روش‌های هوش مصنوعی است که بر مبنای تئوری بهینه‌سازی و از قانون کمینه سازی خطا پیروی می‌نماید که این امر سبب می‌گردد به یک جواب بهینه کلی منجر شود [۱۲]. در مدل رگرسیون SVR که شامل تابعی است با متغیرهای وابسته Y است که این متغیر وابسته از چند متغیر مستقل X و مقداری خطا تشکیل شده است . همان‌طور که در مسائل رگرسیون مشاهده می‌شود میان متغیر وابسته و مستقل رابطه جبری مانند زیر وجود دارد که در ساختار مدل رگرسیون بردار پشتیبان به‌صورت زیر است[۱۳].

$$f(x)=W^{T}.\emptyset(x)+b \quad (۱)$$

$$y=f(x)+noise \quad (۲)$$

رگرسیون بردار پشتیبان همانند مدل‌های هوش مصنوعی دارای توابع محرکی بوده که کرنل نام دارند این کرنل‌ها شامل کرنل چندجمله‌ای[۱] و کرنل توابع پایه شعاعی[۲] (RBF) و کرنل خطی می‌باشند و مطابق روابط زیر برآورد می‌شوند[۱۴و۱۵]. در این پژوهش نیز از این سه تابع کرنل استفاده شد. همچنین مدل رگرسیون بردار پشتیبان در نرم افزار متلب کدنویسی شد.

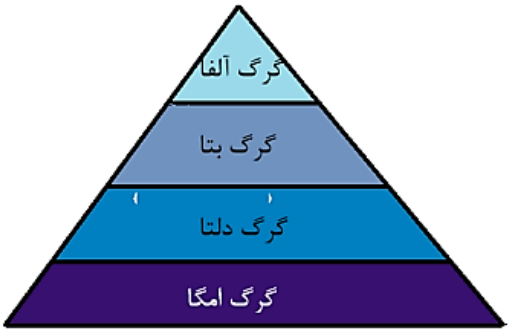
$$k(x,x_j)=(t+x_i.x_j)^{d} \quad (۳)$$

$$K(x,x_i)=\exp\left(-\frac{\|x-x_i\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad (۴)$$

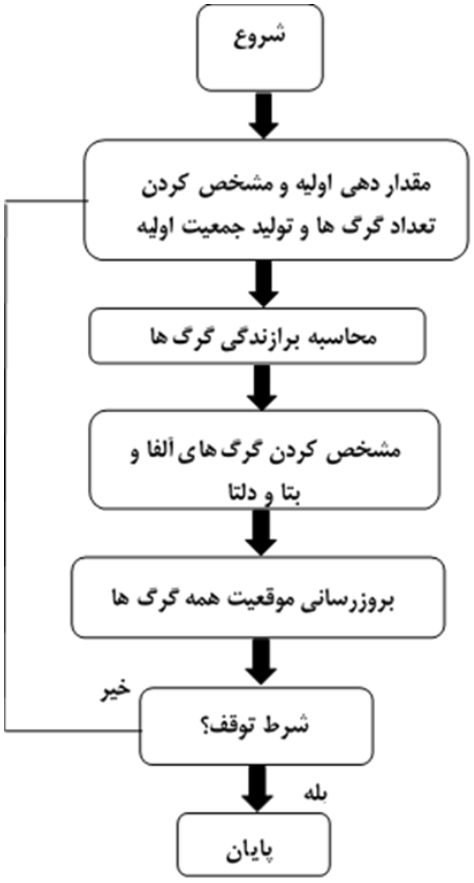
$$k(x,x_j)=x_i.x_j \quad (۵)$$

۲-۳. سناریوی گرگ خاکستری

گرگ خاکستری GWO یک الگوریتم شبیه‌سازی بوده که از رفتار اجتماعی گرگ‌های خاکستری و فرآیند سلسله‌مراتبی بهره گرفته است[۱۶]. این الگوریتم بر مبنای جمعیت بوده و به‌سادگی به مسائل با ابعاد قابل‌گسترش قابل‌تعمیم است. در این الگوریتم شکارچیان رأس، گرگ‌های خاکستری هستند که در بالای هرم قرار می‌گیرند. این گرگ‌ها در یک دسته قرار دارند، که هر گروه ۵-۱۲ عضو به‌طور متوسط دارد. گرگ‌های واقع در رأس هرم دارای وظایف خاصی بوده و سلسله‌مراتب تسلط اجتماعی دقیقی دارند. در هر گله گرگ‌ها ۴ درجه جهت شکار کردن وجود دارد. در این سناریو بهینه‌سازی، از رفتار گرگ‌های خاکستری و سلسله‌مراتب رهبری و روش شکار آن‌ها سناریو برداری می‌شود. در این سناریو از چهار نوع گرگ خاکستری شامل آلفا(∝) ، بتا (β) ، دلتا (δ) و امگا (ω)برای شبیه‌سازی سلسله‌مراتب رهبری استفاده‌شده است. (∝آلفا: مناسب‌ترین جواب، βبتا: مناسب‌ترین جواب با فاکتور گرفتن از ∝ ، دلتا: مناسب‌ترین جواب با فاکتور گرفتن از ∝ و β ، امگا: مابقی راه‌حل‌های کاندید شده)



شکل ۲. سناریو سلسله‌مراتبی گرگ‌ها



شکل ۳. نمودار جریانی سناریو گرگ خاکستری

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲-۴. الگوریتم کرم شب‌تاب

الگوریتم کرم شب‌تاب از جمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که از رفتار موجودات زنده الهام گرفته شده است. این الگوریتم از جمله الگوریتم‌های فراابتکاری بوده که در حل مسائل پیچیده بسیار کارایی دارد. این الگوریتم از رویکرد گروهی الهام گرفته به‌صورتی که از حالت نورافشانی کرم‌های شب‌تاب جهت حل مسائل استفاده می‌شود [۱۷]. در الگوریتم کرم شب‌تاب هر راه‌حل مسئله به‌صورت یک کرم شب‌تاب در نظر گرفته می‌شود و کرم‌های شب‌تاب برحسب شایستگی می‌توانند از خود نور تولید و سایر کرم‌های شب‌تاب را به سمت خود جذب نمایند. این الگوریتم، یک الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت محور و تصادفی است که اولین بار توسط یانگ به جامعه علمی معرفی شد [۱۸]. این الگوریتم بر مبنای رفتار کرم‌های شب‌تاب در جذب جفت عمل می‌کند. سه فرضیه اساسی این الگوریتم به‌صورت زیر است.

الف. برای کرم‌های شب‌تاب جنسیت خاصی در نظر گرفته نمی‌شود

ب. هر کرم شب‌تاب به کرم‌های شب‌تاب دیگر با توجه به‌شدت نور آن‌ها جذب می‌شود

ج. در مسائل ماکزیمم سازی میزان شدت نور با تابع هدف رابطه مستقیم دارد و در مسائل مینیمم‌سازی شدت نور با تابع هدف رابطه عکس دارد.

میزان جذابیت کرم‌های شب‌تاب نسبی بوده و به فاصله بین دو کرم شب‌تاب و ضریب جذب نور بستگی دارد که از رابطه زیر قابل‌محاسبه است.

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} \qquad (۶)$$

در ای رابطه β، میزان جذابیت کرم درخشیان تر در $r = 0$ است (r فاصله کرم شب‌تاب کم‌نور نسبت به کرم شب‌تاب پرنورتر است). موقعیت کرم i ام پس از حرکت به سمت کرم j ام که درخشان‌تر است از رابطه زیر محاسبه می‌گردد

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2}\left(X_{jd}(t) - X_{id}(t)\right) + \alpha\left(rand - \frac{1}{2}\right) \qquad (۷)$$

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| \qquad (۸)$$

Rand عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است و α بین ۰ و ۱ است و پارامتر تصادفی سازی نامیده می‌شود. در شکل زیر فلوچارت این الگوریتم نشان داده‌شده است.



شکل ۴. فلوچارت الگوریتم کرم شب‌تاب

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

۲-۵. الگوریتم خفاش

هوش جمعی از مطلوب‌ترین فرآیندهای بهینه‌سازی است که از رفتار گروهی الهام می‌گیرد [۱۹]. سناریوی خفاش از رفتار جمعی خفاش‌ها در محیط طبیعی الهام گرفته شده است. است. این سناریو بر اساس خاصیت انعکاس صدا خفاش‌ها است. خفاش‌ها توسط ارسال امواج صوتی و دریافت بازتاب آن، مسیر و محل دقیق طعمه خود را پیدا می‌کنند. هنگامی‌که امواج صوتی به سمت خفاش بازمی‌گردد، می‌تواند از موانع روبروی اطراف خود یک تصویر صوتی ترسم کند و در تاریکی محیط اطراف را به‌صورت واضح مشاهده کند. با بهره بردن از این فرآیند، خفاش‌ها اجسام متحرک و ساکن را تشخیص دهند. سناریوی خفاش بر مبنای پژواک‌یابی ریز خفاش‌ها است. دو نوع خفاش در حالت کلی وجود دارد نوع اول خفاش بزرگ و نوع دوم خفاش‌های کوچک هستند. خفاش کوچک در شب و شکار جهت پرواز از ویژگی ذکرشده استفاده می‌کنند.

۲-۶. معیار ارزیابی

در این پژوهش جهت ارزیابی مدل‌های مورد بررسی به‌منظور تخمین میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون از شاخص‌های ارزیابی زیر استفاده شد.

$$R=\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})\,(y_i-\bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2\ \sum_{i=1}^{N}(y_i-\bar{y})^2}},\quad 1\le R\le 1 \qquad (۹)$$

$$RMSE=\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i-y_i)^2} \qquad (۱۰)$$

$$MAE=\frac{\sum_{i=1}^{n}|x_i-y_i|}{n} \qquad (۱۱)$$

$$NS=1-\frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i-y_i)^2}{\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{y})^2},\quad \infty\le NS\le 1 \qquad (۱۲)$$

در روابط بالا، R ضریب همبستگی، $RMSE$ ریشه میانگین مربعات خطا برحسب mm، NS معیار نش ساتکلیف، x_i و y_i به ترتیب مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در گام زمانی i ام، N تعداد گام‌های زمانی، $\bar{x}$ و $\bar{y}$ نیز به ترتیب میانگین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی است. علاوه بر معیارهای فوق از نمودارهای پراکنش و سری زمانی مقادیر مشاهداتی-محاسباتی نسبت به زمان نیز جهت مقایسه و تحلیل بیشتر استفاده می‌گردد.

۳. نتایج و بحث

در این پژوهش جهت مدل‌سازی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه از روش هیبریدی هوش مصنوعی مبتنی بر مدل رگرسیون بردار پشتیبان با الگوریتم‌های فرا ابتکاری گرگ خاکستری، کرم شب‌تاب و خفاش استفاده شد. به‌منظور مدل‌سازی از آمار و اطلاعات ایستگاه ملاثانی واقع در حوضه آبریز کارون استفاده شد. پارامترهای دبی (Q) و دما (T) بعنوان ورودی و پارامتر میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه(DO) بعنوان خروجی مدل طی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۴۰۲ به‌صورت ماهانه انتخاب شدند که در جدول ۱ قابل شاهده است. با توجه به اینکه میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه از ماهیت پیچیده وغیر خطی برخوردار است و پارامترهای متفاوتی بر میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه موثر است بنابراین ترکیبی از پارامترهای موثر تحت سناریوهای مختلف امری ضروری است[۲۰-۲۲]. در جدول ۲ ترکیب پارامترهای موثر تحت سناریوهای مختلف نشان داده شده است. قابل ذکر است جهت مدل‌سازی ۸۰ درصد داده‌های ورودی جهت آموزش و ۲۰ درصد باقی مانده برای تست یا آزمون استفاده شد.

جدول ۱. خصوصیات آماری پارامترهای مورد بررسی

پارامتر	آموزش			صحت سنجی		
	مینیمم	میانگین	ماکزیمم	مینیمم	میانگین	ماکزیمم
دبی(m3/s)	۱/۲۰۳	۲۵/۶۹	۱۵۶/۱۳	۴/۲۹	۳۲/۳۴	۷۰/۵۹
دما(0C)	۵/۳۳	۱۷/۲۰	۲۸/۴۱	۵/۶۲	۱۶/۲۷	۲۶/۱۸
اکسیژن محلول در آب(mg/l)	۵/۵۳	۹/۵۸	۱۴/۹۶	۶/۰۳	۹/۴۲	۱۳/۰۲

جدول ۲. ترکیبات مختلف پارامترهای ورودی

شماره	ورودی	خروجی
۱	T(t)	DO(t)
۲	Q(t)	DO(t)
۳	Q(t-1)	DO(t)
۴	T(t),Q(t)	DO(t)
۵	T(t),Q(t), Q(t-1)	DO(t)

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

به‌منظور مدل‌سازی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون از مدل رگرسیون بردار پشتیبان با الگوریتم‌های گرگ خاکستری، کرم شب‌تاب وخفاش استفاده شد. همچنین در مدل رگرسیون بردار پشتیبان از توابع محرکی که کرنل نام دارند، استفاده شد این توابع شامل توابع پایه شعاعی، چند ضلعی و خطی است که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مقادیر پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی ایستگاه ملاثانی واقع در حوضه آبریز کارون نرمال‌سازی شده سپس وارد مدل رگرسیون بردار پشتیبان می‌شود. در سال‌های اخیر به دلیل آنکه در مدل رگرسیون بردار پشتیبان مقادیر پارامترهای تنظیم توابع کرنل به‌صورت تصادفی انتخاب می‌گردند از الگوریتم‌های بهینه‌سازی جهت افزایش دقت و کاهش خطای مدل استفاده‌شده است[۲۳و۲۴]. در این پژوهش نیز جهت افزایش عملکرد مدل از الگوریتم‌های گرگ خاکستری، کرم شب‌تاب وخفاش جهت بهینه نمودن مقادیر پارامترهای تنظیم استفاده شد. بنابراین در این پژوهش بعد از ورود اطلاعات پارامترهای ورودی به مدل و بهینه نمودن پارامترهای تنظیم ساختار مدل هیبریدی شکل گرفته و منجر به پاسخ محاسباتی مدل می‌گردد از آنجایی که معیار توقف در آموزش مدل‌های هوش مصنوعی میزان خطا است بنابراین مدل در کمترین میزان خطا متوقف و خروجی حاصل می‌گردد.

همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است مدل‌های هیبریدی در سناریو شماره ۵ که شامل کلیه پارامترهای ورودی به مدل است از عملکرد بهتری نسبت به سایر سناریوها برخوردار است همچنین کلیه مدل‌ها در تابع کرنل پایه شعاعی از دقت بهتری برخوردار هستند که نتایج مدل‌ها طبق سناریوهای ترکیبی در جدول ۳ با کرنل تابع پایه شعاعی نشان داده شد. همان‌طور که در جدول مشخص است مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب در سناریو ترکیبی شماره ۵ با بیشترین ضریب همبستگی ۰/۹۷۰ ، کمترین ریشه میانگین مربعات (mg/l) ۰/۶۶۸ ، کمترین میانگین قدر مطلق خطا (mg/l) ۰/۵۲۰ و بیشترین ضریب نش ساتکلیف ۰/۹۷۵ در مرحله صحت سنجی عملکرد بهتری از خود نشان داده است.

در شکل ۴ نمودار سری زمانی مقادیر مشاهداتی و محاسباتی نشان داده‌شده است همان‌طور که مشاهده می‌گردد مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب نسبت به مدل‌های هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان- گرگ خاکستری و رگرسیون بردار پشتیبان-خفاش در تخمین اکثر نقاط ازجمله مینیمم، ماکزیمم و میانی دقت قابل قبولی از خود نشان داده است همچنین مدل‌ها رگرسیون بردار پشتیبان- گرگ خاکستری و خفاش در تخمین مقادیر میانی عملکرد نسبتاً مطلوبی داشته است و در تخمین مقادیر مینیمم و ماکزیمم ضعیف عمل نموده است.

در شکل ۵ نمودار ویولن مدل‌های مورد بررسی نشان داده شد همان‌طور که مشاهده می‌گردد مدل رگرسیون بردار پشتیبان-گرگ خاکستری و خفاش در تخمین مقادیر میزان اکسیژنمحلول در آب ضعیف عمل نمودند با توجه به کران پایین مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها در تخمین مقادیر مینیمم از خود نشان داده است.

مدل رگرسیون بردار پشتیبان-الگوریتم کرم شب‌تاب ترکیبی از بهینه‌سازی پیوسته و گسسته است که زمان رسیدن به یک راه‌حل بهینه را در یک منطقه جستجوی وسیع کاهش می‌دهد زیرا از راه‌حل‌های بهینه محلی اجتناب می‌کند. این امر باعث می‌شود که الگوریتم برای حل مسائل غیر خطی با ابعاد بزرگ با سرعت مناسب در همگرایی به سمت یک جواب بهینه قابل قبول باشد. که این امر سبب گردیده این مدل از دقت بالایی نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار باشد این نتایج با پژوهش دهقانی وهمکارن [۲۵] همخوانی دارد.

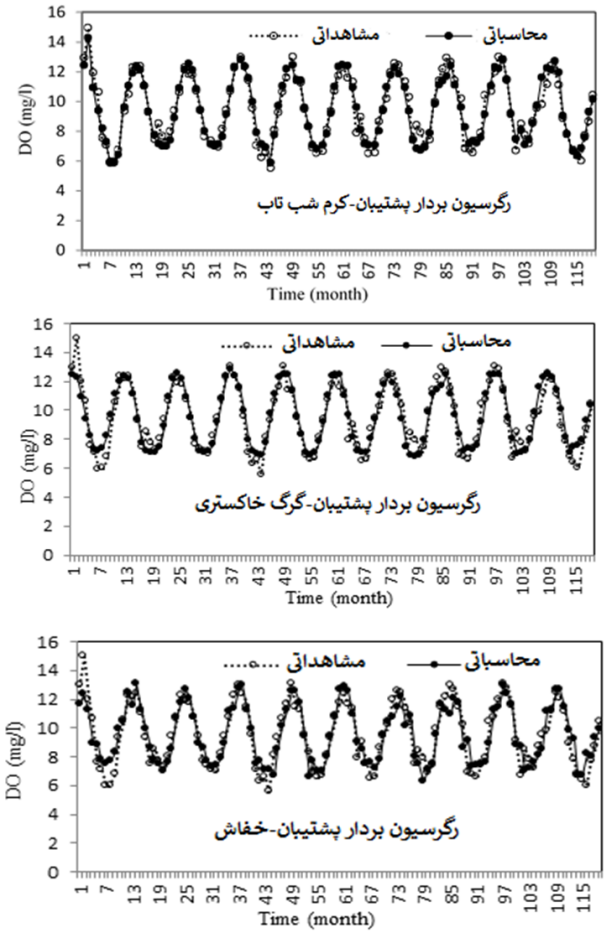
به طور کلی پیشنهاد می‌شود از مدل هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب به عنوان مدلی با خطای ناچیز برای حل مسائل غیرخطی با ابعاد بزرگ با سرعت مناسب در همگرایی به سمت یک جواب بهینه استفاده شود .همچنین می‌توان بعنوان راهکاری نوین در پیش‌بینی میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه به منظور اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب برای بهبود منابع آبی، آماده سازی زمین و سرمایه گذاری اقتصادی، تولید محصولات آبزی دانست.

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

جدول ۳. تحلیل نتایج مدل‌های مورد بررسی

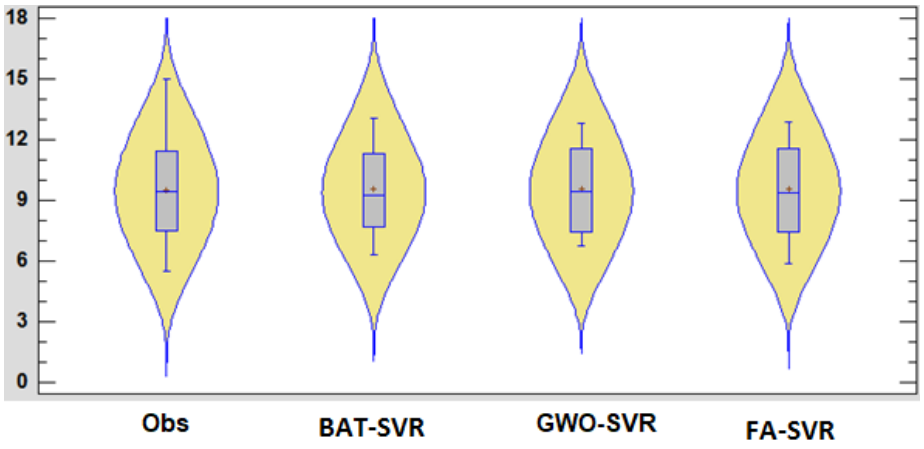
سناریو	مدل	آموزش				صحت سنجی			
		R	RMSE (mg/l)	MAE (mg/l)	NS	R	RMSE (mg/l)	MAE (mg/l)	NS
۱	FA-SVR	۰/۹۱۰	۰/۷۲۱	۰/۵۴۲	۰/۹۲۰	۰/۹۲۱	۰/۷۱۲	۰/۵۶۴	۰/۹۳۰
	GWO-SVR	۰/۹۰۱	۰/۷۳۵	۰/۵۵۶	۰/۹۰۸	۰/۹۱۵	۰/۷۲۲	۰/۵۷۳	۰/۹۲۰
	BAT-SVR	۰/۸۹۳	۰/۷۴۶	۰/۵۶۸	۰/۹۰۰	۰/۹۰۵	۰/۷۳۵	۰/۵۸۲	۰/۹۱۰
۲	FA-SVR	۰/۹۲۷	۰/۷۰۵	۰/۵۲۲	۰/۹۳۱	۰/۹۳۸	۰/۶۹۵	۰/۵۴۰	۰/۹۵۰
	GWO-SVR	۰/۹۱۵	۰/۷۱۴	۰/۵۳۲	۰/۹۲۴	۰/۹۲۵	۰/۷۰۴	۰/۵۵۲	۰/۹۴۰
	BAT-SVR	۰/۹۰۵	۰/۷۲۵	۰/۵۴۴	۰/۹۱۴	۰/۹۱۶	۰/۷۱۲	۰/۵۶۱	۰/۹۲۵
۳	FA-SVR	۰/۹۳۵	۰/۶۹۳	۰/۵۱۸	۰/۹۴۰	۰/۹۵۰	۰/۶۸۶	۰/۵۳۳	۰/۹۶۰
	GWO-SVR	۰/۹۲۶	۰/۷۰۱	۰/۵۲۵	۰/۹۳۰	۰/۹۴۰	۰/۶۹۵	۰/۵۴۲	۰/۹۵۰
	BAT-SVR	۰/۹۱۷	۰/۷۱۰	۰/۵۳۳	۰/۹۲۰	۰/۹۳۰	۰/۷۰۲	۰/۵۵۳	۰/۹۴۰
۴	FA-SVR	۰/۹۴۲	۰/۶۸۶	۰/۵۱۱	۰/۹۵۰	۰/۹۶۰	۰/۶۷۵	۰/۵۲۸	۰/۹۷۰
	GWO-SVR	۰/۹۳۳	۰/۶۷۵	۰/۵۱۸	۰/۹۴۰	۰/۹۵۰	۰/۶۸۶	۰/۵۳۵	۰/۹۶۰
	BAT-SVR	۰/۹۲۱	۰/۷۰۲	۰/۵۲۸	۰/۹۳۰	۰/۹۴۰	۰/۶۹۳	۰/۵۴۴	۰/۹۵۰
۵	FA-SVR	۰/۹۵۰	۰/۶۸۱	۰/۵۰۶	۰/۹۶۰	۰/۹۷۰	۰/۶۶۸	۰/۵۲۰	۰/۹۷۵
	GWO-SVR	۰/۹۴۰	۰/۶۸۸	۰/۵۱۲	۰/۹۵۰	۰/۹۶۰	۰/۶۷۲	۰/۵۲۸	۰/۹۷۰
	BAT-SVR	۰/۹۳۰	۰/۶۹۴	۰/۵۲۱	۰/۹۴۰	۰/۹۵۰	۰/۶۸۰	۰/۵۳۵	۰/۹۶۰



شکل ۴. نمودار سری زمانی مدل‌های مورد بررسی

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



شکل ۵. نمودار ویولن مدل‌های مورد بررسی

۴. نتیجه‌گیری

تخمین میزان اکسیژن محلول در آب رودخانه توسط مدل‌های ترکیبی مبتنی بر رگرسیون بردار پشتیبان بعنوان ابزاری کارامد در طراحی سیستم‌های هیدرولوژیکی و مهندسی رودخانه است. در پژوهش حاضر مطالعه موردی جهت ارزیابی عملکرد مدل فراابتکاری هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان به‌منظور برآورد اکسیژن محلول در آب رودخانه کارون ایستگاه ملاثانی واقع در استان خوزستان صورت گرفت. بدین منظور از الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت شامل کرم شب‌تاب، گرگ خاکستری و خفاش که با مدل رگرسیون بردار پشتیبان ترکیب شده، استفاده گردید. همچنین جهت مدل‌سازی از پارامترهای دبی(Q) و دما(T) به‌عنوان ورودی و میزان اکسیژن محلول در آب (DO) بعنوان خروجی مدل استفاده شد. به‌منظور ساخت مدل هیبریدی بهینه رگرسیون بردار پشتیبان ۸۰ درصد دادها جهت آموزش و ۲۰ دردصد باقی مانده جهت آزمون بررسی و انتخاب شدند. جهت ارزیابی مدل‌های مورد بررسی از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا و ضریب نش ساتکلیف استفاده شد همچنین جهت تحلیل نتایج از نمودارهای سری زمانی و ویولن استفاده گردید. نتایج تحقیق طبق ارزیابی سناریو هایی متشکل از پارامترهای ورودی نشان داد که در کلیه مدل‌های مورد بررسی افزایش تعداد پارامترهای موثر در مدل‌های مختلف مدل‌سازی منجر به عملکرد بهتر در تخمین اکسیژن محلول در آب می‌شود. علاوه بر این، نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی نشان داد مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب از دقت بالا و خطای ناچیزی برخوردار است. همچنین مطابق نمودارهای مورد بررسی مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب مقادیر اکسیژن محلول در آب را نزدیک به مقدار واقعیشان براورد نموده است که در شکل ویولن مشهود است. در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی بر رویکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان می‌تواند در زمینه تخمین میزان اکسیژن محلول در آب طی ۱۰ سال آماری برای سایر مناطق کشور و گامی در جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود الزم میدانند از سازمان آب و برق خوزستان بابت در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات رودخانه موردبررسی تشکر نمایند.

منابع

[1] Zhang X, Zhang Y, Zhang Q, Liu P, Guo R, Jin S, Liu Y. Evaluation and analysis of water quality of marine aquaculture area. Int. journal of Environmental. Research Public Health. 2020; 17: 144-62.

[2] Wei Y, Wei Q, An D. Intelligent monitoring and control technologies of open sea cage culture: A review. Computers and Electronics in Agriculture. 2020; 169(3): 105-19.

[3] Mai C. Transforming the Growth Mode is the Only Way for the Sustainable Development of

Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

Aquaculture in China. Fish. Inf. Strategy. 2012; 27: 1–6.

[4] Jiang X, Dong S, Liu R, Huang M, Dong K, Ge J, Zhou Y. Effects of temperature, dissolved oxygen, and their interaction on the growth performance and condition of rainbow trout (Oncorhynchus mykiss). Journal of Thermal Biology. 2021;98(3): 105-22.

[5] Reddythota D, Timotewos MT. Evaluation of Pollution Status and Detection of the Reason for the Death of Fish in Chamo Lake, Ethiopia. J. Environ. Public Health. 2022; 24(2):332-46.

[6] Loos S, Shin CM, Sumihar J, Kim K, Cho J, Weerts AH. Ensemble data assimilation methods for improving river water quality forecasting accuracy. Water Research. 2020; 171: 115-72.

[7] Asadollah SBHS, Sharafati A, Motta D, Motta D, Yaseen ZM. River water quality index prediction and uncertainty analysis: A comparative study of machine learning models. Journal of Environmental Cheminal Engineering. 2021; 9: 104-22.

[8] Azma A, Liu Y, Azma M,Saadat M, Zhang D, Cho J, Rezania S. Hybrid machine learning models for prediction of daily dissolved oxygen.Journal of Water Process Engineering.2023;54(2):145-56.

[9] Dehghani R, Farhadinejad T, Veyskarami I, Chamanpira R.Concentration prediction of dissolved oxygen using meta-heuristic models.Environmental Resources Research.2024; 12(1):31-46.

[10] Bao X, Jiang Y, Zhang L, Liu B, Chen L, Zhang W, Xie L, Liu X, Qu F, Wu R . Accurate Prediction of Dissolved Oxygen in Perch Aquaculture Water by DE-GWO-SVR Hybrid Optimization Model.Applied Sciences.2024; 14(2):856-69.

[11] Nacar S, Mete B, Bayram A.Comparing Artificial Neural Networks and Regression-based Methods for Modeling Daily Dissolved Oxygen Concentration: A Study Based on Long-term Monitored Data. KSCE Journal of Civil Engineering.2024; 28: 4813–24.

[12] Vapnik VN. The nature of statistical learning theory. Springer, New York.1995; 3(1):250-320.

[13] Vapnik VN. Statistical learning theory. Wiley, New York, 1998; 4(1): 250-320.

[14] Vapnik V, Chervonenkis A. The necessary and sufficient conditions for consistency in the empirical risk minimization method. Pattern Recognition and Image Analysis,1991;1(3): 283-305.

[15] Basak D, Pal S, and Patranabis DC. Support vector regression. Neural Inf Process.2007; 11(2): 203-25.

[16] Ostu N. A Threshold Selection Method from Gray-Level Histograms [J]. IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics.1979; 9(1): 62-6.

[17] Yang XS. Firefly algorithm, nature-inspired meta-heuristic algorithms. Wiley Online Libr .2008;20:79–90.

[18] Yan X, Zhu Y, Wu J, Chen H. An improved firefly algorithm with adaptive strategies. Advance Science Letter .2012;16(1):249–54.

[19] Amuda A, Brest J, Mezura-Montes E. Structured Population Size Reduction Differential Evolution with Multiple Mutation Strategies on CEC 2013 real parameter optimization. In Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation, Cancun, Mexico.2013;8:1925–1931

[20] Nagy H, Watanabe K, Hirano M. Prediction of sediment load concentration in rivers using artificial neural network model, Journal of Hydraulics Engineering.2002; 128: 558-9.

[21] Kisi O, Karahan M, Sen Z. River suspended sediment modeling using fuzzy logic approach. Hydrol Process.2006; 20(2): 4351-62.

[22] Dehghani R, Torabi Poudeh H, Younesi H, Shahinejad B. Daily Streamflow Prediction Using Support Vector Machine-Artificial Flora (SVM-AF) Hybrid Model. Acta Geophysica. 2020;68(6):51-66. https://doi.org/10.1007/s11600-020-00472-7

[23] Dehghani R, Torabi H. Dissolved oxygen concentration predictions for running waters with using hybrid machine learning techniques. Modeling Earth Systems and Environment.2021;6(2):64-78. https://doi.org/10.1007/s40808-021-01253-x

[24] Zeidalinejad N, Dehghani R. Use of meta-heuristic approach in the estimation of aquifer's response to climate change under shared socioeconomic pathways. Groundwater for Sustainable Development.2023;20(4):112-32. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100882

[25] Dehghani R, Babaali H. Evaluation of Statistical Models and Modern Hybrid Artificial Intelligence in Simulation of Runoff Precipitation Process. Sustain. Water Resour. Manag.2002; 8: 154-72. https://doi.org/10.1007/s40899-022-00743-9.

پی‌نوشت‌ها

1 .Polynomial
2 . Radial Basis Functions (RBF)

Archive of SID.ir