Archive of SID.ir

دوفصلنامهٔ هیدروفیزیک

دورهٔ نهم، شمارهٔ دوم (پاییز و زمستان ۱۴۰۲)؛ صفحات ۲۵-۱۵

مقالهٔ پژوهشی

DOR: 20.1001.1.24767131.1402.9.2.2.9

درصد همانندی: ۷٪

# پتانسیل مدل رگرسیون بردار پشتیبان هیبریدی برای پیش‌بینی دبی رسوبی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه کشکان-لرستان)

**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:** ۱۴۰۳/۰۸/۲۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۳/۰۹/۱۰

**چکیده**

ارائه یک مدل پیش‌بینی قوی و قابل‌اعتماد برای میزان دبی رسوبی رودخانه‌ها کاری ضروری برای چندین دیدگاه محیطی و ژئومورفولوژیکی ازجمله کیفیت آب، پایداری مهندسی بستر رودخانه و زیستگاه‌های آبی است. در این تحقیق، یک مدل هوشمند ترکیبی جدید مبتنی‌بر رویکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان برای پیش‌بینی دبی رسوبی رودخانه توسعه داده شده است. بدین منظور در این پژوهش از دو الگوریتم بهینه‌سازی شامل کرم شب‌تاب و گرگ خاکستری برای مدل‌سازی دبی رسوبی رودخانه استفاده شد. برای مدل‌سازی از آمار و اطلاعات ایستگاه هیدرومتری رودخانه کشکان واقع در استان لرستان به‌عنوان مطالعه موردی طی ۷ سناریو ترکیبی از عوامل ورودی در سال‌های ۱۳۷۳-۱۴۰۳ استفاده شد. به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌ها از معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا و ضریب نش ساتکلیف استفاده شد. همچنین به‌منظور تحلیل نتایج مدل‌ها از نمودار سری زمانی و باکس پلات و تیلور استفاده شد. نتایج نشان داد سناریوهای ترکیبی در مدل‌های موردبررسی 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 مربعات خطا (ton/day) ۰/۱۴۵، میانگین قدر مطلق خطا (ton/day) ۰/۰۸۰ و ضریب نش ساتکلیف ۰/۹۸۰ در مرحله صحت‌سنجی برخوردار است. درمجموع نتایج نشان داد که استفاده از مدل‌های هوشمند مبتنی‌بر رویکرد رگرسیون بردار پشتیبان می‌تواند رویکرد مؤثری در پایداری مهندسی رودخانه باشد.

**کلمه‌های کلیدی:** کشکان، رگرسیون بردار پشتیبان، رسوبات معلق، مدل‌سازی.



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



## ۱. مقدمه

انتقال رسوب در رودخانه یکی از فرایندهای مهمی است که بر ویژگی‌های مختلف سیستم رودخانه ازجمله سلامت و کیفیت آب، جغرافیای رودخانه، قابلیت کشتیرانی کانال و چندین جنبه مهندسی دیگر آب تأثیر می‌گذارد [۱]. به‌عنوان یک واقعیت، درک مقدار دقیق رسوبات منتقل شده در یک رودخانه خاص برای دیدگاه مهندسی هیدرولیک به دلیل اهمیت آن در ساختار غوطه‌ور در رودخانه و به‌طورکلی در پروژه‌های منابع آب بسیار ضروری است [۲ و ۳]. باوجوداین، پیش‌بینی رسوب معلق پدیده‌ای بسیار پیچیده است، زیرا فرایند رسوب تحت‌تأثیر متغیرهای مترولوژیکی و هیدرولوژیکی متعددی در یک حوضه آبریز خاص است [۴]. به‌منظور درک میزان رسوب منتقل‌شده از طریق رودخانه‌هایی که معمولاً توسط چندین متغیر هیدرولوژیکی و مورفولوژیکی در دو مقیاس مختلف مکانی و زمانی اعمال می‌شوند [۵]. انتقال رسوب رودخانه را می‌توان با مدل‌سازی فیزیکی که به تلاش و اطلاعات متعدد نیاز دارد یا به‌صورت مفهومی با استفاده از مدل‌های هوشمند مدل‌سازی کرد [۶]. نتایج به دست آمده از مدل‌های فیزیکی و تجربی به دلیل ماهیت غیرخطی و پیچیدگی طبیعت رودخانه‌ها نوسانات زیادی دارد [۷] بنابراین امروزه مدل‌های هوش مصنوعی به دلیل ماهیت غیرخطی بودن و کاهش زمان پیش‌بینی مسائل هیدرولوژیکی به‌ویژه مهندسی رودخانه بیشتر موردتوجه قرار گرفته که به‌صورت مختصر به چندین مورد اشاره می‌شود.

ثاقبیان [۸] در پژوهشی به‌منظور ارزیابی عملکرد مدل‌های هیبریدی فراکاوشی بر مبنای رویکرد رگرسیون‌های بردار پشتیبان و فرایند گاوسی از الگوریتم تبدیل موجک برای شبیه‌سازی تخمین دبی رسوبی رودخانه هوستونیک واقع در ایالات‌متحده استفاده کرد. نتایج نشان داد مدل‌های هیبریدی عملکرد بهتری نسبت به مدل منفرد دارد. همچنین مدل رگرسیون بردار پشتیبان – موجک دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌های موردبررسی دارد. مرادی نژاد [۹] در پژوهشی عملکرد مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان و روش گروهی کنترل داده‌ها را جهت شبیه‌سازی دبی رسوبی رودخانه پل دوآب رودخانه قره چای بررسی نمود؛ نتایج نشان داد مدل رگرسیون بردار پشتیبان دقت بیشتر و خطای ناچیزی دارد. اسدی و همکاران [۱۰] در پژوهشی به‌منظور تخمین دبی رسوبات معلق رودخانه حوضه‌های استان لرستان وگیلان از مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه، شبکه عصبی مصنوعی، K- نزدیک‌ترین همسایه، فرایندهای گاوسی، ماشین‌های بردار پشتیبان و پشتیبان تکاملی استفاده نمودند. نتایج نشان داد ماشین بردار پشتیبان تکاملی نسبت به سایر مدل‌های موردبررسی عملکرد بهتری دارد. دشتی لطیف و همکاران [۱۱] در پژوهشی برای تخمین میزان دبی رسوبی رودخانه جوهور واقع در مالزی از مدل‌های هوش مصنوعی نظیر حافظه کوتاه‌مدت طولانی، شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیون بردار پشتیبان استفاده کردند نتایج نشان داد مدل رگرسیون بردار پشتیبان نسبت به سایر مدل‌های موردبررسی بیش برازشی و گرفتار شدن در نقاط بهینه محلی از خود نشان نداده است و درمجموع خطای ناچیزی نسبت به سایر مدل‌ها دارد.

درمجموع با توجه به پژوهش‌های انجام‌شده، مدل هوش مصنوعی رگرسیون بردار پشتیبان به‌عنوان ابزاری کارآمد در برآورد دبی رسوبی رودخانه‌ها و مسائل هیدرولوژیکی است. امروزه به‌منظور افزایش کارایی و بهبود عملکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان، از ترکیب این مدل با الگوریتم‌های فراابتکاری به‌عنوان راهکاری مناسب برای پیش‌بینی دبی رسوبی رودخانه‌ها استفاده می‌شود. در این پژوهش نیز از مدل‌های هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب و رگرسیون بردار پشتیبان-گرگ خاکستری در تخمین دبی رسوبی رودخانه کشکان واقع در استان لرستان استفاده شد. رودخانه کشکان استان لرستان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های غرب کشور ایران است. این رودخانه در رشد و نمو محصولات کشاورزی، تولید محصولات آبزی، موقعیت جغرافیایی و گردشگری تأثیر بسزایی دارد. همچنین این رودخانه در طی سال‌های اخیر با مخاطره جدی کمبود جریان و افزایش رسوبات مواجه شده است و این امر سبب کاهش تولید محصولات کشاورزی و کاهش درآمد اقتصادی



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir

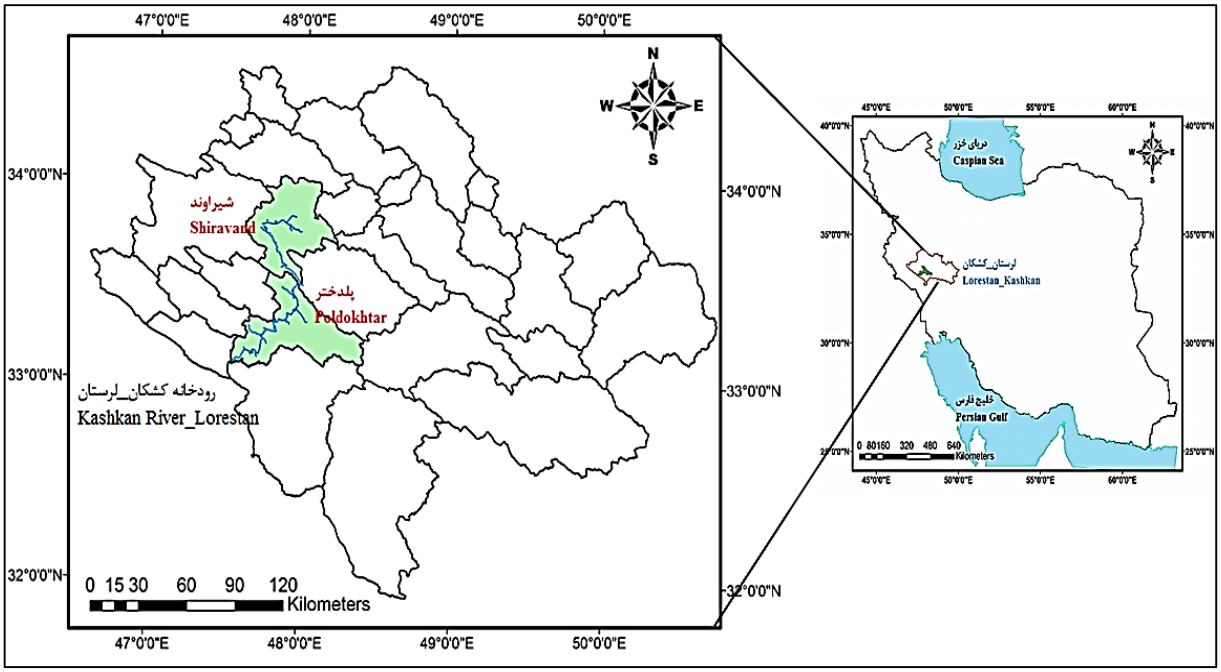


ساکنان این حوضه آبریز می‌شود؛ بنابراین تحلیل و بررسی دبی رسوبی این رودخانه امری لازم و ضروری است. از طرف دیگر اگرچه استفاده از مدل رگرسیون بردار پشتیبان به‌طور گسترده برای تخمین میزان دبی رسوبی رودخانه‌ها استفاده شده است. تاکنون پژوهشی درزمینه استفاده و مقایسه الگوریتم‌های فراابتکاری گرگ خاکستری و کرم شب‌تاب در این رودخانه انجام نشده؛ بنابراین در این پژوهش از الگوریتم‌های بهینه‌سازی با هدف ترکیب با مدل رگرسیون بردار پشتیبان برای برآورد میزان رسوبات معلق رودخانه کشکان استفاده شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲-۱. منطقه موردمطالعه

رودخانه کشکان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین رودخانه‌های استان لرستان و غرب کشور ایران است. این رودخانه در بین طول‌های جغرافیایی ″ ۳۴ ′ ۳۱ ° ۴۷ درجه تا ″ ۶ ′ ۱۲ ° ۴۸ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ″ ۴۵ ′ ۵ °۳۳ تا ″ ۴۱ ′ ۴۴ ° ۳۳ درجه شمالی در استان لرستان قرار گرفته است. حوضه آبریز که این رودخانه را تحت پوشش قرار می‌دهد؛ حدود ۶۶/۹۷ کیلومترمربع است. ازجمله مشکلات و چالش‌های این رودخانه با توجه به سیل‌خیز بودن آن، وجود رسوبات با حجم زیاد است که درزمینه رسوب‌گذاری و انتقال رسوب سبب بروز خسارت‌هایی ازجمله خوردگی کانال و تأسیسات آبی، کاهش ظرفیت مخازن، ایجاد جزایر رسوبی در رودخانه و غیره می‌شود؛ بنابراین در این پژوهش به‌منظور جلوگیری از این پیامدها به برآورد دبی رسوبی با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی‌بر رویکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان پرداخته شد. در شکل ۱ موقعیت منطقه موردمطالعه نشان داده شده است.




شکل ۱. منطقه موردمطالعه

### ۲-۲. رگرسیون بردار پشتیبان

رگرسیون بردار پشتیبان یکی از روش‌های هوش مصنوعی است که از تئوری بهینه‌سازی و قانون کمینه‌سازی خطا پیروی می‌نماید؛ این امر سبب می‌شود به یک جواب بهینه کلی منجر شود [۱۲]. در مدل رگرسیون SVR شامل تابعی 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



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



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 توابع پایه شعاعی[۲] (RBF) و خطی هستند و مطابق روابط زیر برآورد می‌شوند [۱۴ و ۱۵]. در این پژوهش نیز از این سه تابع کرنل استفاده شد. همچنین مدل رگرسیون بردار پشتیبان در نرم‌افزار متلب کدنویسی شد.

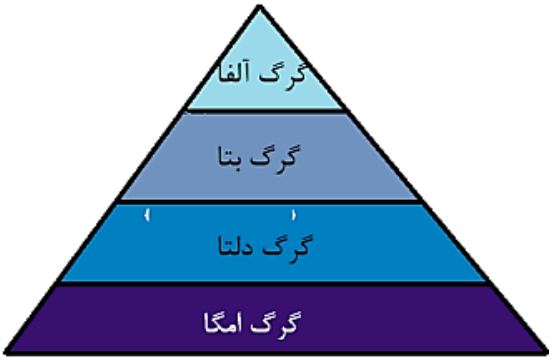
$$k(x,x_j)=(t+x_i.x_j)^{d} \quad (۳)$$

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

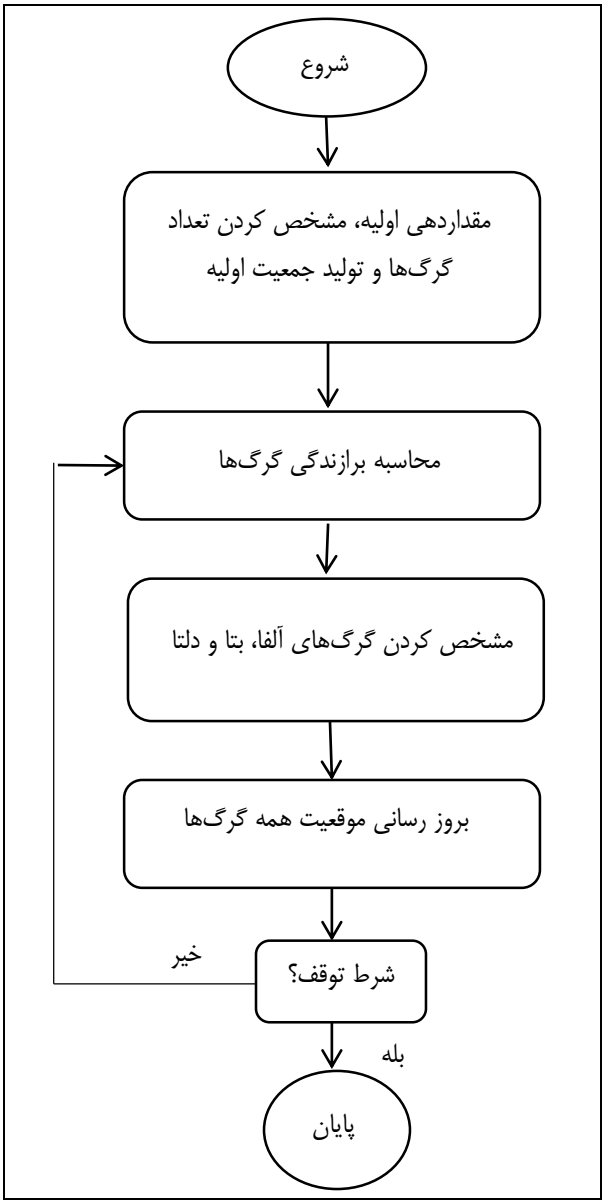
$$k(x,x_j)=x_i.x_j \quad (۵)$$

## ۲-۳. سناریوی گرگ خاکستری

گرگ خاکستری GWO یک الگوریتم شبیه‌سازی است که از رفتار اجتماعی گرگ‌های خاکستری و فرایند 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 برای شکار کردن وجود دارد. در این سناریو بهینه‌سازی، از رفتار گرگ‌های خاکستری، سلسله‌مراتب رهبری و روش شکار آن‌ها سناریوبرداری می‌شود. در این سناریو از چهار نوع گرگ خاکستری شامل آلفا ($\alpha$)، بتا ($\beta$)، دلتا ($\delta$) و امگا ($\omega$) برای شبیه‌سازی سلسله‌مراتب رهبری استفاده شده است. ($\alpha$ آلفا: مناسب‌ترین جواب، $\beta$ بتا: مناسب‌ترین جواب با فاکتور گرفتن از $\alpha$، دلتا: مناسب‌ترین جواب با فاکتور گرفتن از $\alpha$ و $\beta$، 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 ازجمله الگوریتم‌های بهینه‌سازی است که از رفتار موجودات زنده الهام گرفته شده است و ازجمله الگوریتم‌های فراابتکاری بوده که در حل مسائل پیچیده بسیار کارایی دارد. این الگوریتم از رویکرد گروهی الهام گرفته است به‌صورتی‌که از حالت نورافشانی کرم‌های شب‌تاب برای 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 نخستین 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 بیشینه‌سازی میزان شدت نور با تابع هدف رابطه مستقیم دارد و در مسائل کمینه‌سازی 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.

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

در این رابطه $\beta$ ، میزان جذابیت کرم درخشان‌تر در $\mathrm{r} = 0$ است، $r$ (فاصله کرم شب‌تاب کم‌نور نسبت به کرم شب‌تاب پرنورتر است). موقعیت کرم i ام پس از حرکت به سمت کر jام که درخشان‌تر است از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

$$r_{ij} = \|X_i - X_j\| \qquad (۸)$$

Rand عدد تصادفی بین ۰ و ۱ است و $\alpha$ بین ۰ و ۱ است و پارامتر تصادفی‌سازی نامیده می‌شود. در شکل زیر فلوچارت این الگوریتم نشان داده شده است.

### ۲-۵. معیار ارزیابی

در این پژوهش برای ارزیابی مدل‌های موردبررسی به‌منظور تخمین دبی رسوبی رودخانه کشکان از شاخص‌های ارزیابی زیر استفاده شد.

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

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

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

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

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



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



## ۳. نتایج و بحث

در این پژوهش به‌منظور مدل‌سازی دبی رسوبی رودخانه کشکان واقع در استان لرستان از مدل رگرسیون بردار پشتیبان با الگوریتم‌های کرم شب‌تاب و گرگ خاکستری استفاده شد. پارامتر دبی (Q)، دما (T)، مواد جامد محلول در آب (TDS) و بارش (P) به‌عنوان ورودی و میزان دبی رسوبی (Qs) به‌عنوان پارامتر خروجی مدل در دوره زمانی ماهانه، سال ۱۴۰۳-۱۳۷۳ برای ایستگاه‌های هیدرومتری کشکان به‌کار برده شد. هدف کلی از مدل‌های هوشمند بیان ارتباط بین متغیرهایی است که یافتن پیچیدگی آن‌ها در طبیعت کاری دشوار با عدم قطعیت بالاست. دبی رسوبی از پارامترهای مهم هیدرولوژیکی است که تخمین آن در گام‌های زمانی آینده اهمیت زیادی دارد. به این منظور برای کاهش خطا و برآورد پارامتر دبی رسوبی با دقت بالا با استفاده از کمترین پارامترهای ورودی روش گفته‌شده مورداستفاده قرار گرفت که در مقایسه با روش‌های تقریبی به‌مراتب عملکرد بهتری را ارائه می‌نماید. هدف از این پژوهش دریافت این پیچیدگی طبیعی بین پارامترهای هیدرولوژیکی و ارائه مدل برای پیش‌بینی در آینده است. ازآنجاکه میزان دبی رسوبی اهمیت بیشتری نسبت به دیگر پارامترها دارد؛ این پارامتر به‌عنوان متغیر هدف انتخاب شد. در جدول ۱ ویژگی‌های آماری پارامتر استفاده‌شده، ارائه شده است. برای مدل‌سازی ۸۰ درصد داده‌ها برای آموزش و ۲۰ درصد باقی‌مانده به‌منظور آزمایش، به‌صورت تصادفی که گستره وسیعی از انواع داده‌ها را پوشش دهد، انتخاب شد [۱۹-۲۱]. یکی از مهم‌ترین مراحل در مدل‌سازی، انتخاب ترکیب مناسبی از متغیرهای ورودی است. در مدل‌های هوشمند انتخاب ورودی‌های اولیه مناسب و تأثیرگذار در پدیده به‌منظور آموزش ماهیت سازوکار حاکم بر پدیده باعث بهبود عملکرد خواهد شد؛ بنابراین در سناریوسازی میزان دبی رسوبی نیز سعی شد تا مؤثرترین داده‌های مشاهداتی به‌عنوان داده‌های آموزشی انتخاب شود [۲۲]. بدین منظور ترکیب‌های مختلفی از پارامتر ورودی به‌منظور دستیابی به مدل بهینه برای تخمین دبی رسوبی استفاده شد که در جدول ۲ آمده است.

جدول ۱. خصوصیات آماری پارامترهای موردبررسی

| پارامتر | | مینیمم | میانگین | ماکزیمم | انحراف معیار | ضریب تغییرات | چولگی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پارامتر ورودی | دبی (Q) برحسب مترمکعب بر ثانیه | ۰ | ۱۴/۴۷۸ | ۳۷۰/۷۴۰ | ۳۴/۸۱۷ | ۲/۴۰۴ | ۶/۳۴۶ |
| | بارش (p) برحسب میلی‌متر | ۰ | ۴۹/۲۹۱ | ۲۵۳ | ۵۶/۴۸۴ | ۱/۱۴۵ | ۰/۹۷۷ |
| | مواد جامد محلول در آب (TDS) برحسب میلی‌گرم در لیتر | ۱۱۲ | ۲۲۴/۱۷۰ | ۴۸۴ | ۶۳/۸۶۲ | ۰/۲۸۴ | ۰/۷۵۷ |
| پارامتر خروجی | دبی رسوبی ($Q_s$) برحسب تن در روز | ۰/۳۲۴ | ۷۴/۱۷۴ | ۸۳۶/۶۹۲ | ۱۴۶/۰۴۵ | ۱/۹۶۸ | ۲/۸۹۲ |

جدول ۲.ترکیبات مختلف پارامترهای ورودی به مدل‌های موردبررسی

| شماره | ساختار ورودی | خروجی |
|---|---|---|
| ۱ | P(t) | Qs(t) |
| ۲ | Q(t) | Qs(t) |
| ۳ | T(t) | Qs(t) |
| ۴ | TDS(t) | Qs(t) |
| ۵ | P(t),Q(t) | Qs(t) |
| ۶ | P(t),Q(t),T(t) | Qs(t) |
| ۷ | P(t),Q(t),T(t), TDS(t) | Qs(t) |



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



به‌منظور مدل‌سازی میزان دبی رسوبی رودخانه کشکان از مدل رگرسیون بردار پشتیبان با الگوریتم‌های گرگ خاکستری و کرم شب‌تاب استفاده شد. همچنین در مدل رگرسیون بردار پشتیبان از توابع محرکی که کرنل نام دارند، استفاده شد این توابع شامل توابع پایه شعاعی، چندضلعی و خطی است که در این پژوهش بررسی شد. بدین منظور مقادیر پارامترهای هیدرولوژیکی و اقلیمی رودخانه کشکان 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 می‌شوند از الگوریتم‌های بهینه‌سازی برای افزایش دقت و کاهش خطای مدل استفاده شده است [۲۳ و ۲۴]. در این پژوهش نیز برای افزایش عملکرد مدل از الگوریتم‌های گرگ خاکستری و کرم شب‌تاب در 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 به پاسخ محاسباتی مدل منجر می‌شود. از آنجاکه معیار توقف در آموزش مدل‌های هوش مصنوعی میزان خطاست؛ مدل در کمترین میزان خطا متوقف و خروجی حاصل می‌شود.

همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است مدل‌های هیبریدی در سناریو شماره ۷ که شامل همه پارامترهای ورودی به مدل است عملکرد بهتری نسبت به سایر سناریوها دارد. همچنین همه مدل‌ها در تابع کرنل پایه شعاعی دقت بهتری دارند 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 ۷ با بیشترین ضریب همبستگی ۰/۹۷۰، کمترین ریشه میانگین مربعات (ton/day) ۰/۱۴۵، کمترین میانگین قدر مطلق خطا (ton/day) ۰/۰۸۰ و بیشترین ضریب نش ساتکلیف ۰/۹۸۰ در مرحله صحت‌سنجی عملکرد بهتری از خود نشان داده است.

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

در شکل ۵ نمودار باکس پلات مدل‌های موردبررسی نشان داده شد همان‌طور که مشاهده می‌شود. مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب در تخمین مقادیر چارک اول و میانه نسبت به داده‌های مشاهداتی عملکرد بهتری از خود نشان داده است. درصورتی‌که مدل رگرسیون بردار پشتیبان –گرگ خاکستری ضعیف عمل نموده است. همچنین در شکل ۶ نمودار تیلور مدل‌های موردبررسی قابل‌مشاهده است مدل رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب عملکرد بهتری دارد زیرا انحراف معیار پیش‌بینی‌شده میزان دبی رسوبی نزدیک‌ترین فاصله به انحراف استاندارد داده‌های مشاهداتی را دارد و ضریب همبستگی نیز بالاترین میزان را نشان می‌دهد.

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 غیرخطی با ابعاد بزرگ با سرعت مناسب در همگرایی به سمت یک جواب بهینه قابل‌قبول باشد که این امر سبب شده این مدل دقت بالایی نسبت به سایر مدل‌ها داشته باشد.

به‌طورکلی پیشنهاد می‌شود از مدل هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان-کرم شب‌تاب به‌عنوان 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 به‌عنوان راهکاری نوین در پیش‌بینی میزان دبی رسوبی به‌منظور اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب برای بهبود منابع آبی، آماده‌سازی زمین و سرمایه‌گذاری اقتصادی، تولید محصولات آبزی دانست.



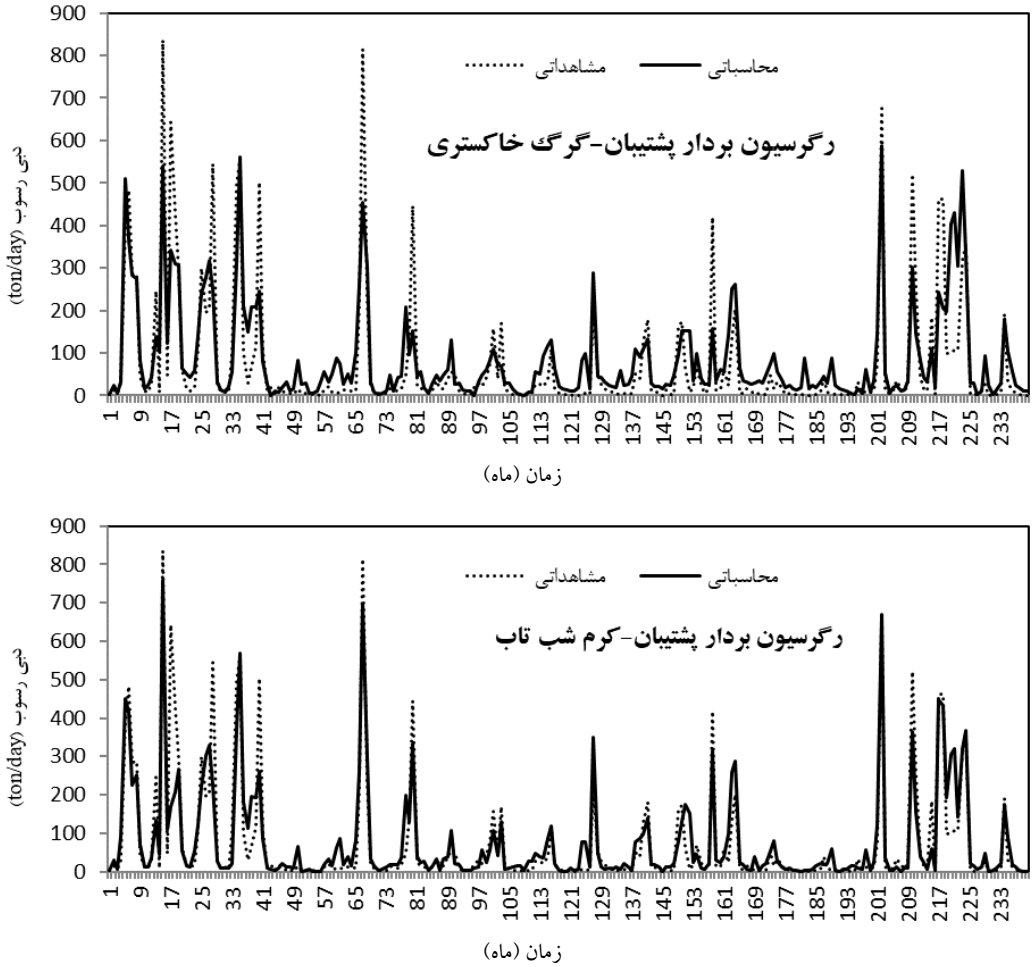
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



جدول ۳.تحلیل نتایج مدل‌های موردبررسی

| سناریو | مدل | آموزش | | | | صحت‌سنجی | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | R | RMSE (ton/day) | MAE (ton/day) | NS | R | RMSE (ton/day) | MAE (ton/day) | NS |
| ۱ | FA-SVR | ۰/۸۸۴ | ۰/۲۸۴ | ۰/۱۷۱ | ۰/۸۹۲ | ۰/۸۹۵ | ۰/۱۹۶ | ۰/۱۳۱ | ۰/۹۱۰ |
| | GWO-SVR | ۰/۸۶۶ | ۰/۲۹۲ | ۰/۱۸۲ | ۰/۸۸۱ | ۰/۸۸۶ | ۰/۲۲۱ | ۰/۱۴۶ | ۰/۸۹۰ |
| ۲ | FA-SVR | ۰/۸۹۰ | ۰/۲۷۰ | ۰/۱۶۲ | ۰/۹۰۱ | ۰/۹۰۳ | ۰/۱۸۵ | ۰/۱۲۰ | ۰/۹۲۲ |
| | GWO-SVR | ۰/۸۷۲ | ۰/۲۸۸ | ۰/۱۷۰ | ۰/۸۹۰ | ۰/۸۹۳ | ۰/۲۱۲ | ۰/۱۳۷ | ۰/۸۹۸ |
| ۳ | FA-SVR | ۰/۸۹۵ | ۰/۲۶۳ | ۰/۱۵۷ | ۰/۹۱۰ | ۰/۹۱۲ | ۰/۱۷۸ | ۰/۱۱۲ | ۰/۹۳۰ |
| | GWO-SVR | ۰/۸۸۰ | ۰/۲۸۲ | ۰/۱۶۳ | ۰/۸۹۷ | ۰/۹۰۴ | ۰/۲۰۳ | ۰/۱۳۰ | ۰/۹۰۵ |
| ۴ | FA-SVR | ۰/۹۰۵ | ۰/۲۵۷ | ۰/۱۴۲ | ۰/۹۲۷ | ۰/۹۳۰ | ۰/۱۷۰ | ۰/۱۰۶ | ۰/۹۴۰ |
| | GWO-SVR | ۰/۸۹۰ | ۰/۲۷۱ | ۰/۱۵۴ | ۰/۹۱۰ | ۰/۹۱۵ | ۰/۱۹۷ | ۰/۱۲۴ | ۰/۹۱۵ |
| ۵ | FA-SVR | ۰/۹۲۰ | ۰/۲۴۴ | ۰/۱۳۱ | ۰/۹۴۰ | ۰/۹۳۷ | ۰/۱۶۱ | ۰/۰۹۵ | ۰/۹۵۰ |
| | GWO-SVR | ۰/۹۱۰ | ۰/۲۵۳ | ۰/۱۴۸ | ۰/۹۲۰ | ۰/۹۲۴ | ۰/۱۸۹ | ۰/۱۱۶ | ۰/۹۳۰ |
| ۶ | FA-SVR | ۰/۹۳۵ | ۰/۲۳۶ | ۰/۱۲۲ | ۰/۹۵۰ | ۰/۹۵۵ | ۰/۱۵۲ | ۰/۰۸۷ | ۰/۹۶۲ |
| | GWO-SVR | ۰/۹۲۱ | ۰/۲۴۵ | ۰/۱۳۹ | ۰/۹۳۵ | ۰/۹۴۰ | ۰/۱۸۰ | ۰/۱۰۸ | ۰/۹۵۰ |
| ۷ | FA-SVR | ۰/۹۵۰ | ۰/۲۲۵ | ۰/۱۱۸ | ۰/۹۶۰ | ۰/۹۷۰ | ۰/۱۴۵ | ۰/۰۸۰ | ۰/۹۸۰ |
| | GWO-SVR | ۰/۹۳۰ | ۰/۲۳۸ | ۰/۱۳۱ | ۰/۹۴۰ | ۰/۹۵۰ | ۰/۱۷۲ | ۰/۰۹۷ | ۰/۹۶۰ |



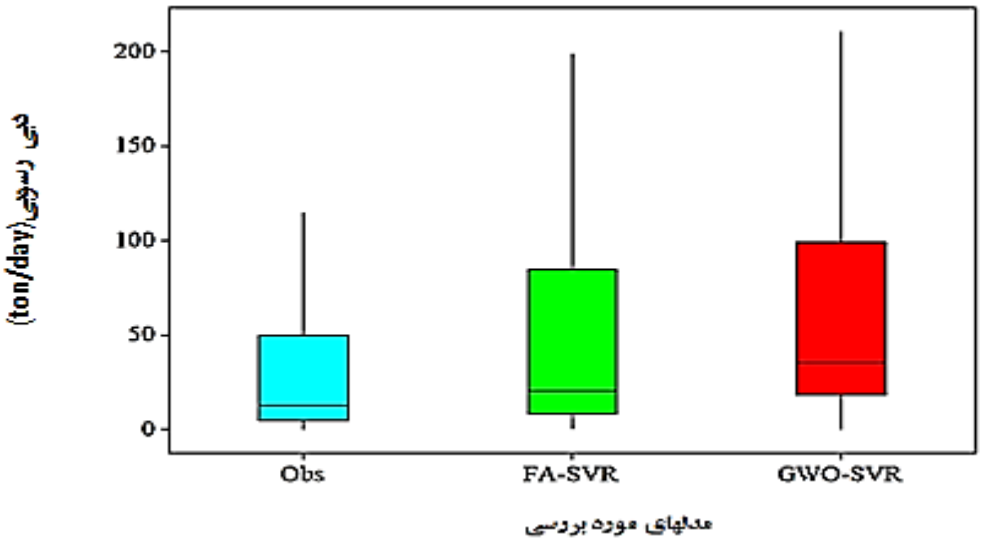

شکل ۴. نمودار سری زمانی مدل‌های موردبررسی



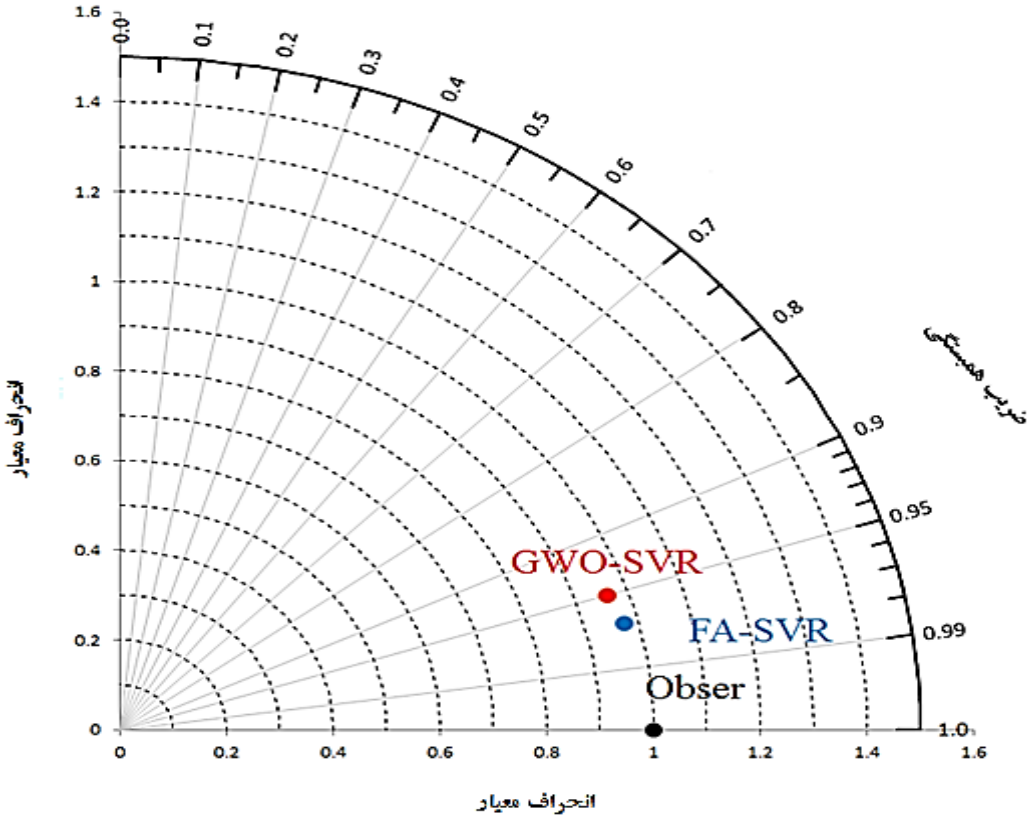
Archive of SID.ir

Archive of SID.ir






شکل ۵. نمودار باکس پلات مدل‌های موردبررسی




شکل ۶. نمودار تیلور مدل‌های موردبررسی

## ۴. نتیجه‌گیری

تخمین میزان دبی رسوبی با مدل‌های ترکیبی مبتنی‌بر رگرسیون بردار پشتیبان به‌عنوان ابزاری کارآمد در طراحی سیستم‌های هیدرولوژیکی و مهندسی رودخانه است. در پژوهش حاضر مطالعه موردی برای ارزیابی عملکرد مدل فراابتکاری هیبریدی رگرسیون بردار پشتیبان به‌منظور برآورد دبی رسوبی رودخانه کشکان واقع در استان لرستان صورت گرفت. بدین منظور از الگوریتم‌های الهام گرفته از طبیعت شامل کرم شب‌تاب و گرگ خاکستری که با مدل رگرسیون بردار پشتیبان ترکیب شده است، استفاده شد. همچنین برای مدل‌سازی از پارامترهای دبی (Q)، دما (T)، مواد جامد محلول در آب (TDS) و بارش (P) به‌عنوان ورودی و میزان



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



دبی رسوبی (Qs) به‌عنوان خروجی مدل استفاده شد. به‌منظور ساخت مدل هیبریدی بهینه رگرسیون بردار پشتیبان ۸۰ درصد دادها برای آموزش و ۲۰ درصد باقی‌مانده برای آزمون بررسی و انتخاب شدند. برای ارزیابی مدل‌های موردبررسی از شاخص‌های آماری ضریب همبستگی، ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین قدر مطلق خطا و ضریب نش ساتکلیف استفاده شد. همچنین برای تحلیل نتایج از نمودارهای سری زمانی، باکس پلات و تیلور استفاده شد. نتایج تحقیق طبق ارزیابی سناریوهایی متشکل از پارامترهای ورودی نشان داد که در کلیه مدل‌های موردبررسی افزایش تعداد پارامترهای مؤثر در مدل‌های مختلف مدل‌سازی به عملکرد بهتر در تخمین دبی رسوبی منجر می‌شود. علاوبر این، نتایج حاصل از معیارهای ارزیابی نشان داد؛ مدل رگرسیون بردار پشتیبان–کرم شب‌تاب دقت بالا و خطای ناچیزی دارد. همچنین مطابق نمودارهای موردبررسی مدل رگرسیون بردار پشتیبان –کرم شب‌تاب مقادیر دبی رسوبی را نزدیک به مقدار واقعی‌شان برآورد نموده است که در شکل‌های باکس پلات و تیلور مشهود است. درمجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی مبتنی‌بر رویکرد مدل رگرسیون بردار پشتیبان می‌تواند درزمینه تخمین میزان دبی رسوبی طی ۳۰ سال آماری برای سایر مناطق کشور و گامی در جهت اتخاذ تصمیمات مدیریتی مناسب استفاده شود.

## سپاسگزاری

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از شرکت آب منطقه‌ای استان لرستان بابت در اختیار گذاشتن آمار و اطلاعات رودخانه موردبررسی تشکر نمایند.

## منابع

[1] Sivakumar B, Jayawardena AW. An investigation of the presence of low-dimensional chaotic behaviour in the sediment transport phenomenon. Hydrological Sciences Journal. 2002 Jun 1;47(3):405-16. https://doi.org/10.1080/02626660209492943

[2] Chang HH. River morphology and river channel changes. Transactions of Tianjin University. 2008 Aug;14:254-62. https://doi.org/10.1007/s12209-008-0045-3

[3] Martinez JM, Guyot JL, Filizola N, Sondag F. Increase in suspended sediment discharge of the Amazon River assessed by monitoring network and satellite data. Catena.2009; 79(1): 257–64. https://doi.org/10.1016/j.catena.2009.05.011

[4] Frings RM, Kleinhans MG. Complex variations in sediment transport at three large river bifurcations during discharge waves in the river Rhine. Sedimentology.2008; 55(2): 1145–71. https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2007.00940.x.

[5] Yaseenm ZM, El-Shafie A, Jaafar O, Afan HA, Sayl KN. Artificial intelligence based models for stream-flow forecasting: 2000–2015. Journal od Hydrology.2015; 530(3): 829–44. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.10.038

[6] Kisi O, Sanikhani H, Zounemat-Kermani M, Niazi F. Long-term monthly evapotranspiration modeling by several data-driven methods without climatic data. Computers and Electronics in Agriculture.2015; 115(1): 66–77. https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.04. 015

[7] Yaseen ZM, Ebtehaj I, Bonakdari H, Deo RC, Mehr AD, Mohtar WHMW, Diop L, El-shafie A, Singh VP. Novel approach for streamflow forecasting using a hybrid ANFIS-FFA model. Journal of Hydrology.2017a; 554(2): 263–76.

[۸] ثاقبیان سید مهدی. تخمین بار معلق رسوبی با استفاده از روش‌های هوشمند تلفیقی با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل. نشریه آب‌وخاک. ۱۴۰۰؛ ۳۵(۴):۴۸۸-۴۷۵.

[۹] مرادی‌نژاد امیر. مدل‌سازی برآورد میزان رسوب معلق رودخانه با استفاده از رگرسیون بردار پشتیبان و روش گروهی کنترل داده‌ها. نشریه دانش آب‌وخاک. ۱۴۰۳؛ ۳۴(۲):۲۲۲-۲۰۳.

[10] Asadi M, Fathzadeh A, Kerry R, Ebrahimi-Khushfi Z, Taghizadeh-Mehrjardi R. Prediction of river suspended sediment load using machine learning models and geo-morphometric parameters. Arabian Journal of Geosciences.2021;14(3):1-14

[11] Dashti Latif S, Chong KL, Najah Ahmed A, Huang YF, Sherif M, El-Shafie A.Sediment load prediction in Johor river: deep learning versus machine learning models. Applied Water Science. 2023;13(4):1-15

[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



Archive of SID.ir

Archive of SID.ir



empirical risk minimization method. Pattern Recognition and Image Analysis,1991;1(3): 283-305.

[15] Basak D, Pal S, Patranabis DC. Support vector regression. Neural Information Processing-Letters and Reviews. 2007 Oct;11(10):203-24.

[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. Advanced Science Letters. 2012 Sep 1;16(1):249-54.

[19] Nagy H, Watanabe K, Hirano M. Prediction of sediment load concentration in rivers using artificial neural network model. Journal of Hydraulics Engineering.2002; 128: 558-59.

[20] Kisi O, Karahan ME, Şen Z. River suspended sediment modelling using a fuzzy logic approach. Hydrological Processes: An International Journal. 2006 Dec 30;20(20):4351-62.

[21] 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

[22] 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

[23] 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):112-132. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2022.100882

[24] Dehghani R, Babaali H. Evaluation of Statistical Models and Modern Hybrid Artificial Intelligence in Simulation of Runoff Precipitation Process. Sustainable Water Resources Management.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