

برآورد مقادیر بار معلق رسوبی رودخانه با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری

شادیه حیدری تاشه کبود^۱، حسن رضائیان^۲

۱- کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی، دانشگاه کردستان

۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب گرایش آبیاری و زهکشی، دانشگاه ارومیه

Shadiheydari21@gmail.com

ارسال: خرداد ماه ۹۸ پذیرش: خرداد ماه ۹۸

چکیده

پدیده فرسایش و انتقال رسوب از پیچیده‌ترین مسائل هیدرودینامیکی است که تعیین دقیق معادلات حاکم بر آن به دلیل تأثیر پارامترهای مختلف، به آسانی میسر نیست. در همین راستا، در این تحقیق با به کارگیری الگوریتم رقابت استعماری به تخمین بار معلق رسوبی روزانه رودخانه زرنه رود پرداخته شد. به این منظور داده‌های دبی روزانه و بار معلق رسوبی ایستگاه رسوبی واقع در رودخانه زرنه رود برای سال‌های ۸۶ تا ۹۲ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از روش پیشنهادی با مقادیر واقعی رسوب مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری نشان داد مقدار مجذور مربعات خطا (RMSE)، برابر با 237 (mg/L) می‌باشد. هم‌چنین مقادیر ضریب تبیین (R^2)، در مرحله صحت سنجی نیز برای الگوریتم رقابت استعماری $0/889$ بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق، انعطاف‌پذیری، توانایی و دقت بالای الگوریتم رقابت استعماری را به اثبات می‌رساند. کلمات کلیدی: الگوریتم رقابت استعماری، رسوب، بار معلق، زرنه رود.

۱- مقدمه

میزان بار رسوبی حوضه‌ای که از یک مقطع مشخص از رودخانه می‌گذرد، به طور غالب بستگی به خصوصیات آب و هوایی از قبیل نوع و شدت بارندگی و نحوه توزیع زمانی و مکانی آن، مشخصات حوزه آبریز بالادست از قبیل نوع خاک، نوع و وضعیت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، مورفولوژی، شیب، توپوگرافی، وسعت حوزه و در نهایت ظرفیت حمل مواد رسوبی دارد. تعیین مقدار رسوب حمل شده توسط رودخانه‌ها از جنبه‌های مختلف دارای اهمیت است. رسوب حمل شده توسط جریان آب، عامل مهمی در شکل‌گیری ساختار هندسی و خصوصیات ریخت‌شناسی رودخانه‌ها تلقی می‌شود. هرگونه افزایش یا کاهش بار رسوبی رودخانه‌ها، پیامدهای مختلفی از جمله وقوع پدیده کف کنی و یا تراز افزایشی، تغییر دانه‌بندی مصالح و شکل مسطحه و نیم‌رخ طولی آن را در پی دارد. به طور کلی از نظر برآورد میزان فرسایش و رسوب حوزه آبخیز (آبریز)، تخمین طول عمر مفید سدها، اصلاح روش‌های نمونه‌برداری بار رسوبی و برآورد مواد رسوبی موجود در آب اندازه‌گیری بار رسوبی رودخانه‌ها حائز اهمیت

می‌باشد. بار معلق رسوبی از طریق اندازه‌گیری‌های مستقیم و یا معادلات انتقال رسوب تعیین می‌شود. امروزه با توسعه امکانات نرم‌افزاری و بهره‌گیری از فناوری‌های جدید، انجام سنجش‌های میدانی، بررسی‌های دقیق آزمایشگاهی و پردازش سریع اطلاعات، شناخت هرچه بهتر فرآیند انتقال رسوب فراهم گردیده است. فرآیند به‌دست آوردن یک رابطه برای تخمین میزان رسوب، یک مسأله نگاشت غیرخطی است و روش‌های نوین (الگوریتم‌های بهینه‌سازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی) به‌عنوان ابزاری توانمند در حل این گونه مسائل محسوب می‌شوند.

از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعه‌ی ناجی و همکارانش در سال ۲۰۰۲ اشاره کرد. ایشان برای پیش‌بینی دبی رسوبی رودخانه‌ها با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده نظیر عمق، دبی و سرعت جریان، شیب بستر، منحنی دانه‌بندی رسوب، عرض بستر، عدد فرود، سرعت سقوط ذرات و ... از شبکه پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا^۱ استفاده نمودند. نتایج نشان دهنده برتری روش شبکه عصبی مصنوعی بود [۱]. کیسی (۲۰۰۵)، برای مدل سازی بار معلق رسوبی از مدل ANN بهره گرفته و نتایج حاصله را با منحنی سنجه رسوبی (SRC) و رگرسیون چند متغیره (MLR) مقایسه نمود [۲]. دهقانی و همکاران (۱۳۸۸)، با استفاده از منحنی سنجه رسوبی و شبکه عصبی مصنوعی به تخمین بار معلق رسوبی رودخانه دوغ در استان گلستان پرداختند. تحقیق فوق نشان داد که شبکه عصبی مصنوعی نسبت به منحنی سنجه رسوبی به نتایج بهتری دست یافته است [۳]. رستگار و حبیبی (۱۳۹۰)، به ارزیابی پنج روش برآورد رسوب در رودخانه جگین در استان هرمزگان پرداختند. روش‌های مورد استفاده شامل معادله اصلاح شده اینشتین، انگلوند-هانسن، یانگ، حبیبی و فان-راین است. به نتایج حاصله و بررسی‌های به عمل آمده، استفاده از روش‌های پنج گانه فوق و مقایسه این نتایج با مقادیر اندازه‌گیری شده، معادله اصلاح شده اینشتین پاسخ واقعی تری را به دست داده است [۴]. رجائی از مدل ANFIS برای شبیه سازی بار معلق رسوبی استفاده کرده و نتایج حاصله را با مدل‌های ANN، منحنی سنجه رسوبی و رگرسیون چند متغیره مقایسه نمود [۵]. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۳)، به ارزیابی قابلیت مدل سیستم استنتاجی فازی عصبی (ANFIS) در تخمین مقادیر بار معلق رسوبی و مقایسه آن با دو نوع مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی پرداختند. آن‌ها از داده‌های دبی روزانه و بار معلق رسوبی ۳۶۵ روز سال ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ ایستگاه رسوبی واقع در رودخانه زرینه رود برای تعلیم و آزمون مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و همچنین از مدل‌های پرسپترون چندلایه (MLP)، شبکه عصبی تابع پایه شعاعی (RBF) و منحنی سنجه رسوبی (SCR) و خطای تبیین استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل ANFIS با برخورداری از خطای تبیین ۰/۹۰۸۷ و مجذور میانگین مربعات خطای ۲۲۴ میلی گرم در لیتر نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشت [۶]. دلیر و همکاران (۲۰۱۵)، به این نتیجه رسیدند که ارتفاع دیواره خاک برداری در جاده بیشترین همبستگی را با تولید رسوب دارد. همچنین آزمون تجزیه واریانس نشان داد که با افزایش شیب جاده جنگلی میزان تولید رسوب آن به‌صورت معنی‌داری افزایش می‌یابد [۷]. میرهاشمی و همکاران (۱۳۹۵)، به ارزیابی الگوریتم-های داده کاوی در بررسی و پیش‌بینی وضعیت آبخوان دشت قزوین اقدام نمودند. ایشان استفاده از سه الگوریتم نرم‌افزار داده کاوی SPSS Modeler IMB به کشف مدل‌ها و الگوهای مؤثر بر پیش‌بینی وضعیت آبخوان پرداختند. نتایج نشان داد بیشترین تأثیر روی عمق آبخوان به ترتیب مقدار دما و تبخیر ترق و تقاضای آب کشاورزی می‌باشد [۸]. محمدرضاپور و همکاران (۱۳۹۵)، به مقایسه دو الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) و ژنتیک در بهینه‌سازی ضرایب معادله منحنی سنجه رسوب در برآورد دبی رسوب معلق رودخانه سیستان (ایستگاه کهک) پرداختند. ایشان جهت محاسبه دبی رسوب توسط مدل‌ها از آمار و اطلاعات لازم (آمار دبی آب و غلظت اندازه‌گیری شده رسوب) از سال ۹۱-۱۳۶۰ استفاده نمودند. نتایج نشان داد که مدل الگوریتم ژنتیک با مقدار ۳۳۴۸۴/۴۷ تن در روز در ایستگاه کهک دارای کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا و پس از آن، الگوریتم ازدحام ذرات با مقدار ۳۴۷۵۴/۳۱ تن در روز و سپس منحنی سنجه رسوب با ۳۵۷۲۳/۹۰ دارای کمترین مقادیر می‌باشند [۹]. قربانی و دهقانی

¹ Back Propagation

² Kisi

(۱۳۹۶)، به مقایسه روش‌های شبکه عصبی بیزین و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین رسوبات معلق رودخانه‌ی سیمینه‌رود اقدام نمودند. نتایج حاصله نشان داد ساختار ترکیبی توانست با استفاده از سه روش هوشمند مورد بررسی، در تخمین میزان رسوب نتایج قابل قبولی ارائه نماید [۱۰].

با توجه به عملکرد مطلوب سیستم‌های هوشمند و هم‌چنین با توجه به صرف هزینه و زمان کم‌تر و در حین حال رسیدن به نتایج دقیق، در این تحقیق از الگوریتم رقابت استعماری که یکی از قدرتمندترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌باشد، در تخمین بار معلق رودخانه زرینه‌رود استفاده شد.

۲- مواد و روش‌ها

حوضه آبریز رودخانه زرینه‌رود در شمال غربی ایران و در جنوب شرقی دریاچه ارومیه واقع شده است. این حوضه آبریز در مختصات جغرافیایی ۴۵ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۱۵ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی گسترده شده است. مساحت حوضه آبریز زرینه‌رود حدود ۱۳۸۹۰ کیلومتر مربع است. میانگین سالانه دما در محل سد زرینه‌رود ۱/۸- درجه سانتی‌گراد برآورد شده که از حدود ۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد درجه سانتی‌گراد در بهمن ما تا ۵ در مرداد ماه متغیر است. در شکل ۱ موقعیت رودخانه زرینه‌رود بر روی نقشه نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت رودخانه زرینه‌رود بر روی نقشه

برای محاسبه دبی رسوب، ابتدا آمار و اطلاعات لازم جمع‌آوری شده از قبیل دبی روزانه و بار معلق رسوبی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ به عنوان ورودی استفاده شد و به وسیله آن مقادیر بار معلق روزانه تخمین زده شد. پارامترهای آماری روزانه ایستگاه زرینه‌رود برای دوره‌های آموزش و صحت‌سنجی در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری روزانه ایستگاه زرینه‌رود برای دوره‌های آموزش و صحت‌سنجی

CS _x	S _x	X _{max}	X _{min}	X	نوع داده	
5/12	121	1022	0/30	57	دبی	داده‌های آموزشی
5/94	734/2	7251	4	315	رسوب	
3/2	89	469	0/10	42	دبی	داده‌های تست
5/87	726/6	7036	2	286/9	رسوب	

از همگنی، از دو سوم داده‌ها (۷۰ درصد داده‌ها) برای آموزش مدل و یک سوم (۳۰ درصد) باقی‌مانده جهت صحت‌سنجی پارامترهای به‌دست آمده با استفاده از مدل الگوریتم رقابت استعماری استفاده شده است. هدف از انجام این تحقیق حداقل نمودن اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب واقعی Q_0 و مقادیر محاسبه شده رسوب Q_m با استفاده از مدل مورد استفاده می‌باشد. تابع هدف مد نظر در این پژوهش به صورت رابطه ۱ در نظر گرفته شده است:

$$g(u) = \sum_{i=1}^I \sqrt{(Q_m - Q_0)^2} \quad (1)$$

که در این رابطه، u فاکتور ورودی و $g(u)$ تابع هدف می‌باشد. بر طبق جدول ۱ مانند جمعیت اولیه، سیاست جذب و... برای بخش‌های مختلف الگوریتم رقابت استعماری انتخاب شد. در مراحل مختلف انجام این پژوهش، به منظور تخمین مقادیر بار رسوبی، الگوریتم رقابت استعماری (ICA) با چندین ساختار ورودی که شامل دبی روزانه و بار معلق رسوبی بود، مورد استفاده قرار گرفت. به طور کلی پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری بدین صورت تعریف می‌شوند:

کشور: دسته پارامترهای مجهول

تابع هزینه: میزان میانگین مربعات می‌باشد.

پارامترهای الگوریتم ICA مورد استفاده در جدول زیر نشان داده شده‌اند.

نحوه عملکرد الگوریتم رقابت استعماری به ترتیب مراحل زیر می‌باشد:

- چند نقطه تصادفی روی تابع انتخاب کرده و امپراطوری‌های اولیه را تشکیل بده.
- مستعمرات را به سمت کشور امپریالیست حرکت بده (سیاست همسان‌سازی).
- اگر مستعمره‌ای در یک امپراطوری، وجود داشته باشد که هزینه‌ای کمتر از امپریالیست داشته باشد.
- جای مستعمره امپریالیست را با هم عوض کن.
- هزینه کل یک امپراطوری را حساب کن (با در نظر گرفتن هزینه‌ی امپریالیست و مستعمراتشان).
- یک مستعمره از ضعیف‌ترین امپراطوری انتخاب کرده و آن را به امپراطوری‌ای که بیشترین احتمال تصاحب را دارد، بده.
- امپراطوری‌های ضعیف را حذف کن.
- اگر تنها یک امپراطوری باقی‌مانده باشد، توقف کن و گرنه به ۲ برو.

در الگوریتم‌های بهینه‌سازی پارامترهایی وجود دارند که تغییرات آن‌ها باعث تغییر عملکرد الگوریتم می‌گردد و در سرعت همگرایی و مرغوبیت جواب‌ها تأثیر گذار خواهند بود. به‌دست آوردن بهترین پارامترها با سعی و خطا همراه است. لذا به‌منظور بهتر شدن کارایی الگوریتم رقابت استعماری، سعی و خطاهایی برای به‌دست آوردن بهترین مقدار برای هر پارامتر انجام شد که این پارامترها در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ICA

نام پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد کشورها	500
تعداد امپراطوری‌ای اولیه	30
تعداد دهه‌ها (تکرارهای الگوریتم)	100
تعداد کشورها	500

با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین و مجذور مربعات خطا مطابق رابطه ۱، قابلیت روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [S_{\text{real}} - S_{\text{predict}}]^2} \quad (2)$$

$$R^2 = \frac{\sum_1^n (\text{calc} - \text{avg. obs})^2}{\sum_1^n (\text{obs} - \text{avg. obs})^2} \quad (3)$$

که در آن، S_{real} مقدار واقعی، S_{predict} مقادیر پیش‌بینی شده و N تعداد داده‌ها، ave.ob میانگین داده‌های مشاهداتی، calc داده‌های محاسباتی متناظر با داده‌های مشاهداتی می‌باشند. مقدار ایده‌آل R^2 برابر یک می‌باشد.

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق، با استفاده از دو پارامتر آماری مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و (R^2)، عملکرد هر مدل الگوریتم رقابت استعماری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مقایسه بهتر، کلیه داده‌های ورودی و خروجی به کار رفته در پژوهش، به روش مطرح شده لاروس (لاروس، ۲۰۰۵)، معادل [۰ و ۱] انتخاب گردید و داده‌ها پس از نرمالیزه شدن وارد هر مدل پیشنهادی شدند [۱۱]. پس از معرفی ساختارهای ورودی و یافتن مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر الگوریتم (ساختار بهینه) و به کارگیری آن‌ها در مدل و هم‌چنین پس از آموزش مدل‌های استخراج شده بر اساس ۷۰ درصد داده‌ها، از مدل‌های ساخته شده در مرحله بعدی برای آزمون استفاده شد. در بخش صحت‌سنجی، اعداد به‌دست آمده از مدل‌های مختلف با مقادیر واقعی رسوب معلق در ایستگاه بر اساس شاخص‌های ارزیابی مقایسه شد. مقدار میانگین مربع خطا و ضریب تبیین به عنوان معیارهای کارایی مدل مورد نظر محاسبه گردید. در جدول ۳، نتایج حاصل از آموزش و صحت‌سنجی الگوریتم رقابت استعماری را در برآورد مقادیر بار معلق رسوبی ارائه شده است.

جدول ۳- ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی در تخمین بار معلق رسوبی

نتایج داده‌های تست حاصل از (ICA)		نتایج داده‌های آموزشی حاصل از (ICA)	
R^2	RMSE (mg/L)	R^2	RMSE (mg/L)
0.8990	237	0.8826	232

همانطور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود، الگوریتم رقابت استعماری به ترتیب دارای کم‌ترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE=237$) و بیش‌ترین ضریب تبیین ($R^2=0.8990$) می‌باشد. بنابراین می‌توان این‌گونه اظهار کرد که الگوریتم ICA از قابلیت بالایی در تخمین بار معلق رسوبی برخوردار است. در جدول‌های ۴ و ۵، مقادیر حداکثر رسوب پیش‌بینی شده و حجم کلی معلق بار معلق رسوبی توسط مدل الگوریتم رقابت استعماری با مقادیر واقعی مقایسه شده است.

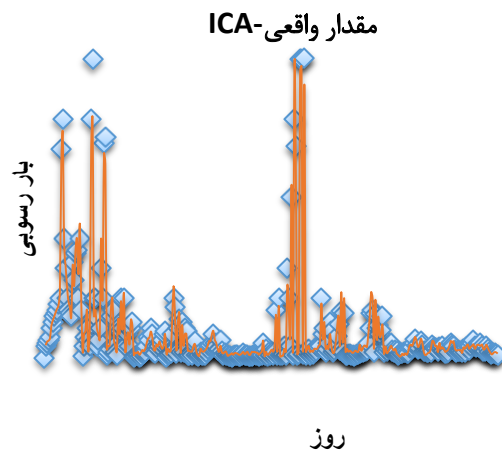
جدول ۴- مقایسه حداکثر رسوب پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی

درصد خطای نسبی (ICA)	نتایج حاصل از (ICA)	حداکثر مقادیر رسوبی <3000
26	5180	7036
5.6	5760	6101
24.6	3751	4977
5.7	3871	4102
33	2520	3806
16.9	3114	3749
26	4012	3177

جدول ۵- مقایسه‌ی مجموع مقادیر رسوبی پیش‌بینی شده توسط الگوریتم رقابت استعماری و مقادیر واقعی

درصد خطای نسبی (ICA)	نتایج حاصل از (ICA)	مقادیر واقعی (بر حسب تن)
22	128723	104727

با توجه به نتایج جدول ۵، مشاهده می‌شود مقدار رسوب پیش‌بینی شده توسط الگوریتم رقابت استعماری برابر با ۱۲۸۷۲۳ می‌باشد که خطای ۲۰٪ نسبت به مقدار واقعی (مشاهداتی) دارد و بیانگر این مطلب است که مقادیر حداکثر رسوب پیش‌بینی شده و حجم کلی بار معلق رسوبی توسط الگوریتم رقابت استعماری به مقادیر واقعی (مشاهداتی) بسیار نزدیک می‌باشد. در شکل‌های ۲ مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل الگوریتم رقابت استعماری با مقادیر واقعی (اندازه‌گیری شده) مقایسه شده است. همان‌گونه که از شکل ۲ نیز مشخص است نتایج حاصل از پیش‌بینی مقادیر رسوب توسط الگوریتم رقابت استعماری به مقادیر واقعی نزدیک‌تر بوده و این کارایی الگوریتم مورد نظر را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده توسط الگوریتم ICA

در حالت کلی با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان اظهار نمود نتایج حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری (ICA) در پیش‌بینی و مقادیر بار معلق رسوبی رضایت‌بخش بوده و با استفاده از مدل‌سازی ریاضی فرآیند تکامل اجتماعی-سیاسی از سرعت مناسب، انعطاف‌پذیری و کارایی بالایی برخوردار است.

۴- نتیجه گیری

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر، ارزیابی قابلیت عملکرد الگوریتم رقابت استعماری در تخمین مقادیر بار معلق رسوبی رودخانه-ی زرینه رود و مقایسه نتایج حاصل از آن با داده‌های مشاهداتی است. داده‌های مورد استفاده، آمار ۶ ساله دبی جریان و دبی رسوب اندازه گیری شده رودخانه زرینه رود می‌باشد. متغیرهای ورودی شامل دبی و بار معلق رسوب در روز مورد نظر بودند که با استفاده از پارامتر RMSE اقدام به شناسایی و انتخاب ساختار بهینه جهت ورود داده به الگوریتم شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم رقابت استعماری دارای بیشترین دقت (با ضریب تبیین ۰/۸۸۲۶ و ۰/۸۹۹۰ در داده‌های صحت سنجی در تخمین مقادیر بار معلق) در برآورد بار معلق رسوبی می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که الگوریتم رقابت استعماری مقادیر تابع هدف را به مقدار بهتری توانست کمینه نماید. لذا می‌توان نتیجه گیری کرد که با انتخاب دبی و بار معلق رسوب در روز مورد نظر، می‌توان به بهترین نتیجه از الگوریتم رقابت استعماری در منطقه مورد مطالعه دست یافت.

۵- مراجع

۱. فغفوری، ز.، آرمان، ن.، فرجی، م.، خرسندی، ز.، ۱۳۹۶. تعیین عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی با استفاده از روش‌های آماری (مطالعه موردی: حوضه سیدآباد). مهندسی و مدیریت آبخیز. جلد ۹، شماره ۲، ۲۰۴-۱۹۰.
2. Kisi, O., 2009. Evolutionary fuzzy models for river suspended sediment concentration estimation. *Journal of Hydroogyl.* 372(1-4), 68-79.
۲. دهقانی، ا.ا.، زنگانه، م.ا.، مساعدی، ا.، کوهستانی، ن.، ۱۳۸۸. مقایسه تخمین بار معلق به دو روش منحنی سنج رسوب و شبکه عصبی مصنوعی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۶، ۵۱-۳۶.
۳. رستگار، ح.، حبیبی، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی پنج روش برآورد رسوب در رودخانه جگین در استان هرمزگان. مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۳، شماره ۳.
۴. امامی، س.، همّتی، م.، ارونقی، ه.، ۱۳۹۵. ارزیابی کارایی الگوریتم‌های رقابت استعماری و ژنتیک در تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت بستان آباد). هیدروژئولوژی.
۵. خورشید دوست، ع.م.، فیض‌الله‌پور، م.، صدرافشاری، س.، ۱۳۹۴. ارزیابی قابلیت مدل سیستم استنتاجی فازی عصبی (ANFIS) در تخمین مقادیر بار معلق رسوبی و مقایسه آن با دو نوع از مدل‌های شبکه‌ی عصبی مصنوعی. جغرافیا و توسعه، شماره ۴۱، ۲۰۰-۱۸۵.
6. Dalir, P., Cash, R., Gholami, V., 2015. The most important factors related Nvlyd forest roads in the forests of Northern Iran deposition. *Journal of Environmental Degradation*, 2, 13-23.
۷. میر هاشمی، س.ح.، حقیقت‌جو، پ.، میرزایی اصل شیرکوهی، ف.، پناهی، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی الگوریتم‌های داده‌کاوی در بررسی و پیش-بینی وضعیت آبخوان دشت قزوین. هیدروژئولوژی.
۸. میرباقری، س.ا.، رجائی، ط.، ۱۳۸۳. تخمین بار معلق رودخانه زهره با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. اولین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۹. قربانی، م.ع.، دهقانی، ر.، ۱۳۹۶. مقایسه روش‌های شبکه عصبی بیزین و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین رسوبات معلق رودخانه‌ها (مطالعه موردی: سیمینه رود). علوم و تکنولوژی محیط زیست، جلد ۱۹، شماره ۲.
10. Kisi, O., 2009. Evolutionary fuzzy models for river suspended sediment concentration estimation. *Journal of Hydroogyl.* 372(1-4), 68-79.

Estimating River Sediment Suspended Load Using Imperialist Competitive Algorithm

Abstract

Erosion phenomenon and sediment transition is one the most complex hydrodynamics problems, so simply it is not possible the exact determination of its governing equations. The purpose of this research is to use imperialist competitive algorithm in estimating of daily sediment suspended load in Zarrineh rood river. For this aim, the daily discharge data and sediment suspended load of the sedimentary station in Zarrineh rood river was used for 86 and 87 years. The results of purposed method were compared with actual sediment values. The results of validity of the simulation with ICA model show that RMSE in testing sample for ICA algorithm is 237. Also, R^2 of validity for ICA has been 0.889. The results of this study indicate flexibility, ability and high accuracy of the ICA algorithm is good.

Keywords: Imperialist Competitive Algorithm, Sediment, Suspended Load, Zarrinehrood River.

Archive of SID