مقایسه الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک در بهینه‌سازی ضرایب معادله منحنی سنجه رسوب در برآورد دبی رسوب معلق رودخانه سیستان؛ مطالعه موردی ایستگاه کهک

ام البنی محمدرضاپور[۱]، پرویز حقیقت‌جو[۲]، محمد جواد زینلی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۱۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۲۲

چکیده

برآورد صحیح غلظت رسوبات در رودخانه‌ها برای برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های منابع آب بسیار مهم است. مدل‌های متفاوتی برای تعیین ارتباط بین مقدار دبی جریان و مقدار رسوب توسعه پیدا کرده‌اند. منحنی سنجه رسوب یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای برآورد رسوب معلق رودخانه‌ها می‌باشد. برای تخمین هر چه بهتر میزان رسوب معلق بر اساس معادله منحنی سنجه می‌توان ضرایب این معادله را بهینه نمود. یکی از روش‌های بهینه‌سازی ضرایب معادله منحنی سنجه رسوب استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری می‌باشد. هدف اصلی از این تحقیق استفاده از الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات برای بهینه کردن ضرایب معادله منحنی سنجه رسوب برای ایستگاه کهک بر روی رودخانه سیستان و مقایسه نتایج بدست آمده از این مدل‌ها با منحنی سنجه رسوب می‌باشد. برای محاسبه دبی رسوب توسط مدل‌ها در ابتدا آمار و اطلاعات لازم از جمله آمار دبی آب و غلظت اندازه‌گیری شده رسوب ازسال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۹۱ در ایستگاه مورد مطالعه جمع آوری شده است. مدل‌های الگوریتم ژنتیک (GA) و الگوریتم ازدحام ذرات (PSO) در نرم‌افزار متلب کدنویسی شد. پس از اینکه مدل‌ها با ۷۰ درصد داده‌ها مورد آموزش قرار گرفت، ۳۰ درصد داده‌ها در هر دو ایستگاه مورد آزمون قرار گرفتند. معیار ارزیابی مدل‌ها ضریب تبیین (R^2)، ضریب نش ستکلیف (CE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بوده است. نتایج بدست آمده از مدل‌ها که در واقع کمینه کردن خطای حاصل از داده‌های محاسبه شده و مقادیر واقعی می‌باشد نشان‌دهنده این واقعیت است 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.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم‌های فرا کاوشی، بهینه‌سازی، رسوبات معلق، رودخانه سیستان.

[۱] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل،۰۹۳۸۱۱۴۵۴۳۸، mohammadrezapour@uoz.ac.ir (مسئول مکاتبه)
[۲] استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل۰۹۱۵۵۴۲۵۱۳۶، Parvizhjou@uoz.ac.ir
[۳] کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشکده آب وخاک، دانشگاه زابل، ۰۹۳۹۴۵۰۲۰۱۱، mj.zeynali1@gmail.com

مقدمه

پدیده فرسایش و رسوب خاک از جمله مهم‌ترین عوامل طبیعی است که به طور جدی منابع آب و خاک را مستقیم و یا غیر مستقیم تهدید می‌نماید .از اثرات منفی فرسایش علاوه بر نابودی منابع آب و خاک که عامل اصلی تامین غذای بشر می‌باشد، ترسیب مواد رسوبی در مخارن سدها است که باعث کاهش حجم مخازن و ذخیره آب به عنوان مایع اصلی حیات می‌گردد. لذا توجه جدی به این موضوع علی الخصوص با رشد سریع جمعیت و کمبود منابع غذایی احساس می‌گردد. روش‌های مهندسی متعددی جهت تخمین رسوب معلق مانند استفاده از روش‌های سنجش از راه دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، اندازه‌گیری مستقیم غلظت رسوبات در رودخانه وجود دارد. الگوریتم‌های فراابتکاری در حال حاضر بارها برای حل مسائل پیچیده و غیر خطی استفاده شده است. الگوریتم‌های فراابتکاری مجموعه الگوریتم‌هایی برای حل مسائل بهینه‌یابی هستند که بصورت تصادفی اما هدفمند و ساده در فضای جواب مسئله به دنبال جواب بهینه مطلق حرکت می‌نمایند. این روش ها معمولاً از طبیعت الهام گرفته می‌شوند. زیرا برخی از پدیده های طبیعی با وجود تصادفی بودن به طرز جالبی دارای حرکتی به سمت حالت‌های نزدیک به حالت بهینه هستند. تحقیقات زیادی در مورد برآورد رسوب با روش‌هایی غیر از الگوریتم‌های فراابتکاری و همچنین از الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات در بهینه‌سازی مسائل مختلف استفاده‌های زیادی شده که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌گردد. دهقانی و همکاران (۱۳۸۸) در تحقیق خود با استفاده ازشبکه عصبی مصنوعی جهت تخمین مقدار رسوب معلق برای رودخانه مادرسو (دوغ) دراستان گلستان استفاده کرده اند. نتایج آن‌ها نشان دادکه شبکه عصبی مصنوعی توانست نسبت به روش منحنی سنجه با دقت بسیارمناسب برای تخمین بارمعلق رسوب مورد استفاده قرارگیرد.

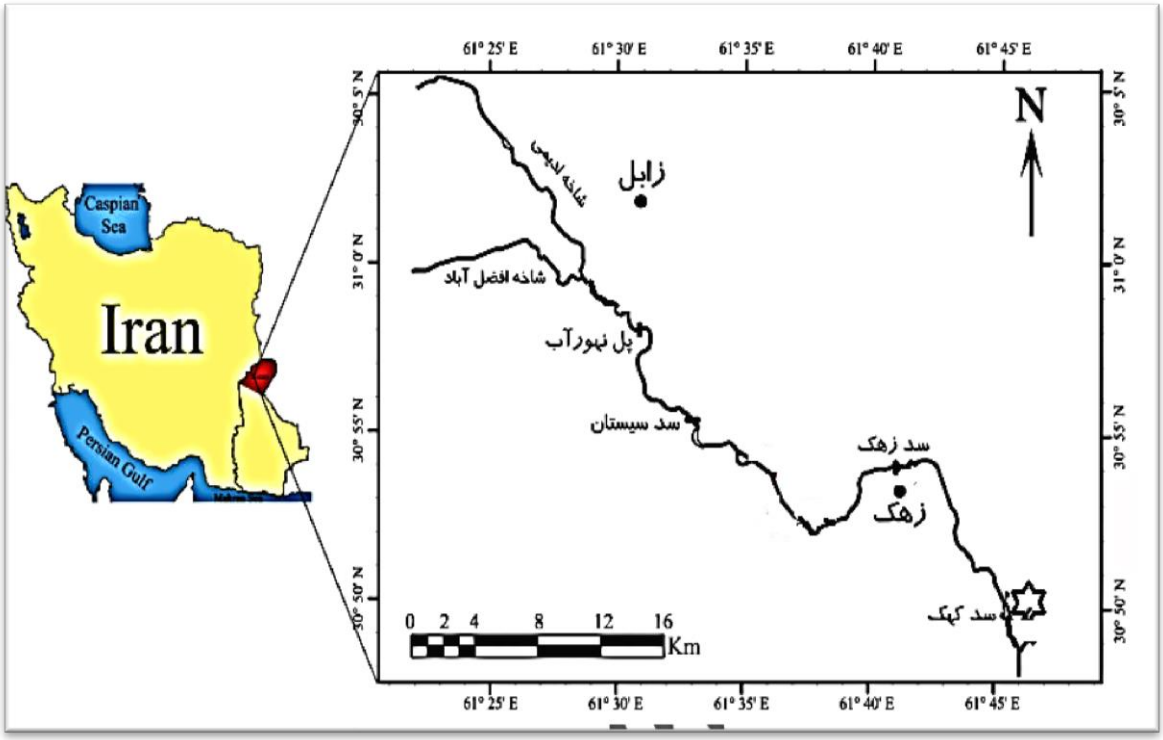
بابایی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی از مدل شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی رسوب معلق در سه ایستگاه هیدرومتری در حوضه گرگانرود استفاده نمودند. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی رسوب از کارایی بالایی برخوردارهستند. بیاضی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی بر روی تعدادی از رودخانه‌های واقع در استان آذربایجان شرقی به بررسی کارایی روش‌های مختلف برون‌یابی پرداختند و نتایج نشان داد روش حد وسط داده‌ها روشی مناسب برای استان آذربایجان شرقی می‌باشد. عبدی دهکردی و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی به منظور افزایش دقت برآوردها، ضرائب معادله منحنی سنجه رسوب را با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک بهینه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از روش‌های جست‌وجوی هوشمند عملکرد روش مرسوم منحنی سنجه را به میزان قابل توجهی بهبود می‌بخشد. نژاد نادری و همکاران (۱۳۹۰) از الگوریتم‌های ازدحام ذرات، مورچگان و ژنتیک جهت ارائه سیاست بهینه بهره‌برداری از سد کلان ملایر مورد استفاده قرار دادند. این تحقیق نشان داد که در نتیجه اعمال الگوریتم جامعه مورچگان نتیجه نهایی فرآیند کمینه کردن تابع هدف یعنی مینیمم نمودن مجموع اختلافات خروجی مخزن و نیاز آبی پایین‌دست، بهبود چشمگیری پیدا کرده است. آذرافزا و همکاران (۱۳۹۱) بهینه‌سازی مخزن برای آورد پنج ساله رودخانه شهرچای و با هدف تأمین نیاز پایین‌دست از جمله نیاز شرب، کشاورزی و محیط با استفاده از الگوریتم‌های آنیلینگ، ژنتیک و ازدحام ذرات انجام گرفته و پارامترهای بهینه به دست آمد و مقایسه نتایج نشان داد که الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات به صورت مؤثرتری نسبت به سایر روش‌ها عمل نمود. Altunkaynak, 2009. با استفاده از الگوریتم ژنتیک به برآورد مقدار رسوب با استفاده از مقادیر دبی پرداخته است. Mohammadrezapour et al., 2011 در تحقیقی از الگوریتم ژنتیک برای بهینه کردن رابطه بین دبی جریان و دبی رسوب برای

ایستگاه نوده واقع بر رودخانه گرگانرود استفاده کردند که نتایج بدست آمده با منحنی سنجه رسوب مقایسه شد. ارزیابی نتایج نشان داد که الگوریتم ژنتیکاز دقت بالاتری نسبت به منحنی سنجه رسوب برخوردار می باشد.Ebrahimi et al., 2013 در تحقیقی عملکرد الگوریتم زنبور عسل را در مقدار رسوب معلق مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم زنبور عسل از کارایی بالایی برخوردار است.هدف از انجام این تحقیق استفاده از الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات برای بهینه کردن ضرایب منحنی سنجه رسوب در برآورد دبی رسوب معلق در ایستگاه کهک بر روی رودخانه سیستان و مقایسه نتایج بدست آمده با منحنی سنجه رسوب می‌باشد.

حوضه آبریز سیستان

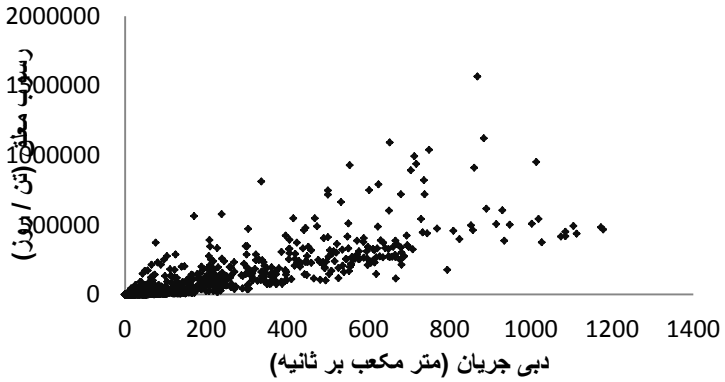
مواد و روش‌ها

بزرگ‌ترین حوضه آبریز مسدود کناری حوضه سیستان است که حوضه‌ای است مسطح به وسعت حدود ۱۸۲۰۰ کیلومتر مربع، تنها ۴۰ درصد مساحت این حوضه در خاک ایران و باقی در خاک افغانستان واقع است. حوضه سیستان که در حقیقت همان مصب رود هیرمند می‌باشد در نواحی پست خود شامل تعدادی دریاچه با آب شیرین است که بزرگ‌ترین آن‌ها همان دریاچه هامون معروف به هامون سیستان یا هامون هیرمند می‌باشد. دشت سیستان در منتهی الیه مرز شرقی ایران و در طول‌های '۱۰ °۶۱ تا '۵۰ °۶۱ شرقی و عرض‌های '۱۸ °۳۰ تا'۲۰ °۳۱ شمالی واقع شده است. این دشت به وسعت ۲۵۰ هزار هکتار، بخشی از اراضی شهرستان زابل می‌باشد. که در گوشه شمالی استان سیستان و بلوچستان قرار گرفته است. رودخانه هیرمند از دامنه جنوبی کوه‌های هندوکش در حوالی کابل در خاک افغانستان سرچشمه می‌گیرد و پس از طی حدود ۱۰۰۰ کیلومتر و با شیب متوسط یک متر به مرز ایران می‌رسد. این رودخانه در مرز ایران و افغانستان به دو شاخه پریان مشترک و رودخانه سیستان منشعب می‌گردد. رودخانه سیستان، در محدوده جغرافیایی '۴۰ °۳۰ تا '۵۵ °۳۰ عرض شمالی و '۲۵ °۶۱ تا '۴۵ °۳۰ طول شرقی از محل علیا تا مصب از الگوی رودخانه‌های مئاندری منظم تبعیت می‌کند (حافظی مقدس و همکاران، ۱۳۹۱). این رودخانه که در جنوب شرقی دشت سیستان در مرز ایران و افغانستان از رودخانه هیرمند منشعب شده و پس از طی مسافت طولانی در حدود ۷۲ کیلومتر به دریاچه هامون هیرمند می‌ریزد. شکل (۱) موقعیت حوضه رود هیرمند در افغانستان و حوضه آبریز هامون- هیرمند در ایران را نشان می‌دهد.



شکل(۱): موقعیت شاخه ی انتهایی رودخانه سیستان و ایستگاه کهک در منطقه سیستان

برای محاسبه دبی رسوب توسط مدل ها در ابتدا آمار و اطلاعات لازم از قبیل آمار غلظت اندازه‌گیری شده رسوب و دبی جریان متناظر با آن، از سال ۱۳۶۰ تا سال ۱۳۹۰ در ایستگاه کهک جمع آوری شد. در قدم اول انجام محاسبات باید از همگن بودن داده‌ها اطمینان لازم را داشت. برای این منظور آزمون همگنی داده‌ها در طول دوره آماری بررسی گردید. نتایج حاصله نشان دادند که داده‌ها در ایستگاه کهک همگن می‌باشند. پس از اطمینان از همگنی، داده‌ها به دو قسمت یک سوم و دو سوم تقسیم شدند. دو سوم داده‌ها برای یادگیری مدل و یک سوم باقیمانده برای آزمون پارامترهای بدست آمده با استفاده از مدل‌های الگوریتم ژنتیک، ازدحام ذرات و همچنین با استفاده از رابطه رگرسیونی بین دبی آب و دبی رسوب (منحنی سنجه رسوب) استفاده شده است. شکل (۲) نمودار پراکندگی داده‌های دبی جریان و دبی رسوب در ایستگاه مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین در جدول (۱) خلاصه پارامترهای آماری مورد استفاده در این تحقیق آورده شده است.



شکل (۲): نمودار پراکندگی داده‌های دبی جریان و رسوب در ایستگاه کهک

جدول (!): پارامترهای آماری دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه)و رسوب معلق (تن بر روز)

ایستگاه	نوع داده	انحراف معیار	میانگین داده ها	داده های حداکثر	داده های حداقل
کهک	جریان	۵۰/۸۸۵	۳۸/۵۷۷	۲۲۷/۶	۱/۵۳
	رسوب معلق	۸۰۸۱۵/۱۱	۲۸۴۲۰/۰۲۶	۳۹۰۸۹۹/۸۱	۴۱/۲۷۷

معرفی تابع هدف

هدف از انجام این تحقیق حداقل نمودن اختلاف بین مقادیر اندازه گیری شده رسوب واقعی Q_o با مقادیر محاسبه شده رسوب Q_m با استفاده از مدل‌های مورد استفاده می باشد که تابع آن به شکل زیر تعریف شده است.

$$g(u) = \sum_{i=1}^{l} \sqrt{(Q_m - Q_o)^2} \qquad (۱)$$

در معادله بالا u فاکتور ورودی و g(u) تابع هدف می‌باشد که باید مینیمم گردد.

از آنجا که مقدار رسوب محاسبه شده تابعی از پارامتر هایی مانند دبی روزانه رودخانه Q_w می‌باشد، باید برای حداقل نمودن تابع هدف به دنبال پارامترهایی بود که Q_m را به Q_o نزدیک کند.

در این تحقیق رابطه بین دبی رسوب و دبی جریان به صورت زیرتعریف شده است:

$$Q_, = aQ_{w(t)}^{b} \qquad (۲)$$

که در آن:

$Q_{w(t)}$:مقدار دبی جریان روزانه a, b: ضرایبی هستند که باید بهینه شوند.

الگوریتم ژنتیک (GA)

الگوریتم ژنتیک یک روش بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت جاندار است که می‌توان در طبقه‌بندی‌ها از آن به عنوان یک روش عددی، جست‌وجوی مستقیم و تصادفی معرفی کرد. این الگوریتم مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده‌است. در الگوریتم GA، ابتدا به طور تصادفی جامعه‌ای از کروموزوم‌ها ایجاد و سپس برازندگی آن‌ها محاسبه و تعیین می‌گردد. در ادامه به‌وسیله عملگرهای پیوند و جهش جامعه‌ای جدید با مقادیر برازندگی بالاتر تولید می‌شود (Goldberg, 1989). مهم‌ترین عملگرهای

الگوریتم GA شامل بُرش[1]و جهش[2] می‌باشد که عمل برش بر روی کروموزوم‌های افرادی که به عنوان والد انتخاب شده‌اند اعمال می‌شود و پس از اعمال برش ژن‌های دو والد از محل برش از هم جدا شده و باهم جابه‌جا می‌شوند. برش می‌تواند در یک نقطه از طول کروموزوم (برش تک نقطه‌ای[3]) یا از دو نقطه (برش دو نقطه‌ای[4]) یاچند نقطه (برش چند نقطه‌ای[5]) صورت گیرد. عمل جهش نیز به صورت‌های گوناگونی می‌تواند اعمال شود از جمله این‌که یک ژن می‌تواند با ژنی دیگر در طول کروموزوم تعویض شود یا مقدار عددی یک یا چند ژن به طور تصادفی تغییر کند. عمل تشکیل کروموزوم نیز به طرق مختلف امکان‌پذیر است که می‌توان داده‌ها را به صورت دودویی کد کرد و سپس داده‌های کد شده را کنار هم قرار داد یا خود داده‌های واقعی را کنار هم قرار داده که این کار سبب عدم افزایش بیش از حد طول رشته می‌گردد (اکبرپور و موسوی، ۱۳۸۵).

الگوریتم ازدحام ذرات(PSO)

در این الگوریتم، موقعیت هر ذره یک نقطه از فضای جواب مسئله را نشان می‌دهد. هر ذره دارای حافظه می‌باشد و بهترین موقعیتی که در فضای جست‌وجو به آن می‌رسد را به خاطر می‌سپارد. حرکت هر ذره می‌تواند در سه جهت صورت گیرد: ۱- ادامه حرکت خود، هم جهت با مسیری که طی می‌نموده است. ۲- حرکت به سوی بهترین موقعیتی که اختیار کرده است. ۳- حرکت به سوی بهترین موقعیتی که کل گروه (کل ذرات) پیدا کرده‌اند. لذا تغییر موقعیت هر ذره در فضای جست‌وجو تحت تأثیر تجربه خود و دیگر ذرات خواهد بود (شی و ابرهارت، ۱۹۹۸).در یک مسئله خاص، هر ذره از گروه می‌تواند با یک بردار سرعت و یک بردار موقعیت نمایش داده شود. تغییر موقعیت هر ذره با تغییر در ساختار موقعیت و سرعت قبلی امکان‌پذیر است. هر ذره، اطلاعاتی شامل بهترین مقدار (موقعیتی) که تا کنون به دست آورده است (بهینه شخصی[6])؛ موقعیتی که در در حال حاضر در آن قرار دارد ($X_{i,(t)}$) و بهترین جوابی که تا کنون در کل گروه به دست آمده است (بهینه فراگیر[7]) را دارا می‌باشد. هر ذره برای رسیدن به بهترین جواب موقعیت خود را با استفاده از موقعیت کنونی ($X_{i,(t)}$)، سرعت کنونی ($V_{i,(t)}$)، فاصله بین موقعیت کنونی و بهینه شخصی و فاصله بین موقعیت کنونی و بهینه فراگیر تغییر می‌دهد. لذا بردار سرعت جدید $V_{i,(t+1)}$ برای ذره iام طبق رابطه ۳ محاسبه می‌شود Shi and Eberheart, 1998:

(۳)

$$V_{i,(t+1)} = w.V_{i,(t)} + C_1.r_1.(P_{i,(t)} - X_{i,(t)}) + C_2.r_2.(G_{(t)} - X_{i,(t)})$$

که در آن r_1 و r_2 بردارهای تصادفی بین صفر و یک هستند که برای حفظ تنوع و گوناگونی گروه به کار می‌روند. C_1 و C_2 پارامترهای شناختی و اجتماعی هستند؛ انتخاب مقدار مناسب برای این پارامترها منجر به تسریع همگرایی الگوریتم و جلوگیری از همگرایی زودرس در بهینه‌های محلی می‌شود. انتخاب مقادیر بزرگ‌تری برای پارامتر شناختی C_1 نسبت به پارامتر اجتماعی C_1 مناسب‌تر است، اما بایستی همواره شرط $C_1 + C_2 \le 4$ رعایت شود (Goldberg, 1989). پارامتر W که اینرسی وزنی نام دارد ، برای تضمین همگرایی در دسته ذرات به کار می‌رود؛ و مقداری بین ۰/۴ و ۰/۷ برای آن مناسب می‌باشد (Goldberg, 1989). $P_{i,(t)}$ موقعیت بهترین محلی که ذره iام تا کنون داشته و $G_{i,(t)}$ موقعیت بهترین محلی که کل ذرات تا کنون آن‌جا را یافته‌اند. موقعیت جدید ذره iام نیز از رابطه ۴ به دست خواهد آمد (Shi et al., 1998)

[1]Crossover
[2]Mutation
[3]Single Crossover
[4]Double Crossover
[5]multi Crossover

[6]Personal Best
[7]Global Best

$$X_{i,(t+1)} = X_{i,(t)} + V_{i,(t+1)} \qquad (۴)$$

معیارهای ارزیابی مدل‌های ارائه شده

جهت ارزیابی مدل‌های مذکور در تخمین میزان رسوبات سالانه، از شاخص‌های آماری نظیر ریشه میانگین مربعات خطا، ضریب ناش-ساتکلیف و مطابق روابط ۵ تا ۷ استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{n}(O-P)^2} \qquad (۵)$$

که RMSE ریشه میانگین مربعات خطا می‌باشد که هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد مدل از دقت بیشتری برخوردار است.

$$CE = 1 - \frac{\frac{1}{N}\sum_{1}^{N}(O-P)^2}{\frac{1}{N}\sum_{1}^{N}(O-\bar{O})^2} \qquad (۶)$$

CE: معیار ناش- ساتکلیف می باشد که مقدار آن ازمنفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. که هر چقدر مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد مدل از کارایی بیشتری برخوردار است(Nash and Sutcliffe, 1970).

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})(P_i-\overline{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(P_i-\overline{P})^2}} \right)^2 \qquad (۷)$$

که در آن R^2 ضریت تبیین ،n: تعداد داده ها، Oi دبی رسوب بار معلق مشاهده شده، Pi دبی رسوب بار معلق تخمین زده شد، $\overline{O}$:میانگین مقادیر مشاهده شده و $\overline{P}$: میانگین مقادیر برآورد شده مقدار بهینه این شاخص آماری ۱۰۰٪ می باشد.

نتایج و بحث

همه مدل‌ها، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات و منحنی سنجه رسوب برای داده‌های ایستگاه کهک اجرا شدند. همانطور که در قسمت مواد و روش‌ها بیان گردید در الگوریتم‌های بهینه‌سازی پارامترهایی وجود دارندکه تغییرات آن‌ها باعث تغییر عملکردالگوریتم می‌گردد و در سرعت همگرایی و مرغوبیت جواب‌ها تأثیر گذار خواهد بود. بدست آوردن بهترین پارامترها با سعی و خطا و یا استناد به مرور منابع می‌باشد. لذا به منظور بهتر شدن کارایی الگوریتم‌های ژنتیک و ازدهام ذرات سعی و خطاهایی برای بدست آوردن بهترین مقدار برای هر پارامتر انجام شده است که در ادامه آمده است. در الگوریتم ژنتیک پارامترهای زیادی بر مقدار تابع هدف تأثیرگذار هستند که پارامترهای مناسب آن در جدول (۲) آورده شده است. جهت جلوگیری از طویل شدن طول کروموزوم، ساختار کروموزوم به صورتی تعریف شده که خود اعداد تشکیل دهنده بیت‌ها یا ژن‌ها خواهند بود (کدینگ ارزشی).

جدول (۲): پارامترها و روش‌های به کار برده شده در الگوریتم ژنتیک

تعداد جمعیت	۱۵۰
تعداد والدین	۸۰
احتمال جهش	۰/۴
احتمال انتخاب برش تک نقطه‌ای	۰/۱
احتمال انتخاب برش دو نقطه‌ای	۰/۲
احتمال انتخاب برش چند نقطه‌ای	۰/۸
نوع کدینگ	کدینگ ارزشی
نوع انتخاب والدین و انتخاب برش	انتخاب با چرخ رولت

در الگوریتم ازدحام ذرات همانطور که در قسمت مواد و روش‌ها اشاره شد پارامترهای C_1 و C_2 پارامترهای شناختی و اجتماعی هستند؛ انتخاب مقدار مناسب برای این پارامترها منجر به تسریع همگرایی الگوریتم و جلوگیری از همگرایی زودرس در بهینه‌های محلی می‌شود.جدول (۳) مقادیر مختلف C_1 و C_2و بهترین مقادیر تابع هدف را نشان می‌دهد. همان‌طور که از جدول ملاحظه می‌شود مقادیر ۲,۵ و ۱,۵ به ترتیب برای C_1 و C_2 بدست آمده است. پارامتر W که اینرسی وزنی نام دارد برای تضمین همگرایی در دسته ذرات به کار می‌رود؛ مقدار آن در هر تکرار تغییر کرده اما مقدار این پارامتر، همواره بین ۰/۴ و ۰/۷ می‌باشد.

جدول (۳): تأثیر مقادیر C_1 و C_2 در الگوریتم ازدحام ذرات در مقادیر تابع هدف

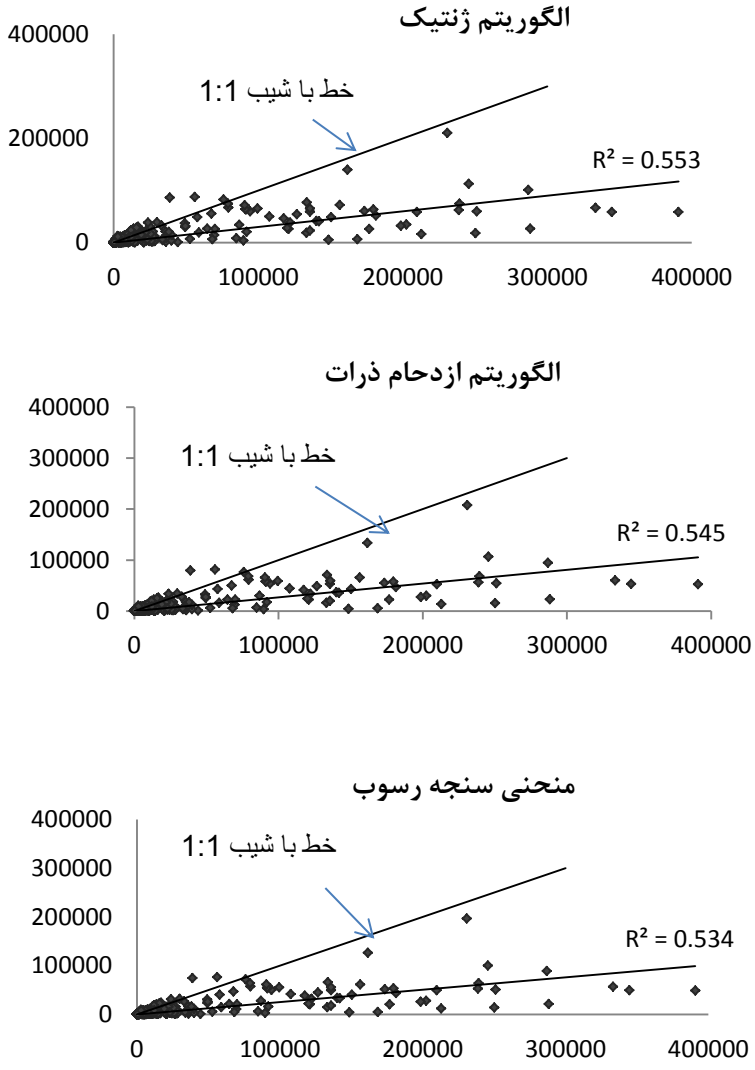
C۱	۲	۱/۵	۲/۵
C۲	۱	۱	۱/۵
مقادیر تابع هدف در ایستگاه کهک	۳۶۵۴۲/۱۸	۴۱۲۴۵/۱۸	۳۴۷۵۴/۳۱
مقادیر تابع هدف در ایستگاه نوده	۲۱۴/۲۳	۲۶۴/۳۲	۱۸۳/۱۲۳

پس از آموزش مدل‌های استخراج شده بر اساس ۷۰ درصد داده‌ها، از مدل‌های ساخته‌شده در مرحله بعدی برای آزمون استفاده شد. در بخش آزمون یا صحت‌سنجی، اعداد بدست آمده از مدل‌های مختلف با مقادیر واقعی رسوب معلق در ایستگاه بر اساس شاخص‌های ارزیابی منتخب مقایسه شد. جدول (۴) ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضرایب تبیین (R^2)، ضریب نش- ستکلیف (CE) و پارامترهای استفاده شده برای بدست آوردن مقدار رسوبات توسط مدلهای الگوریتم‌های ژنتیک، ازدحام ذرات و منحنی سنجه رسوب در مرحله آزمون را نشان می‌دهد.

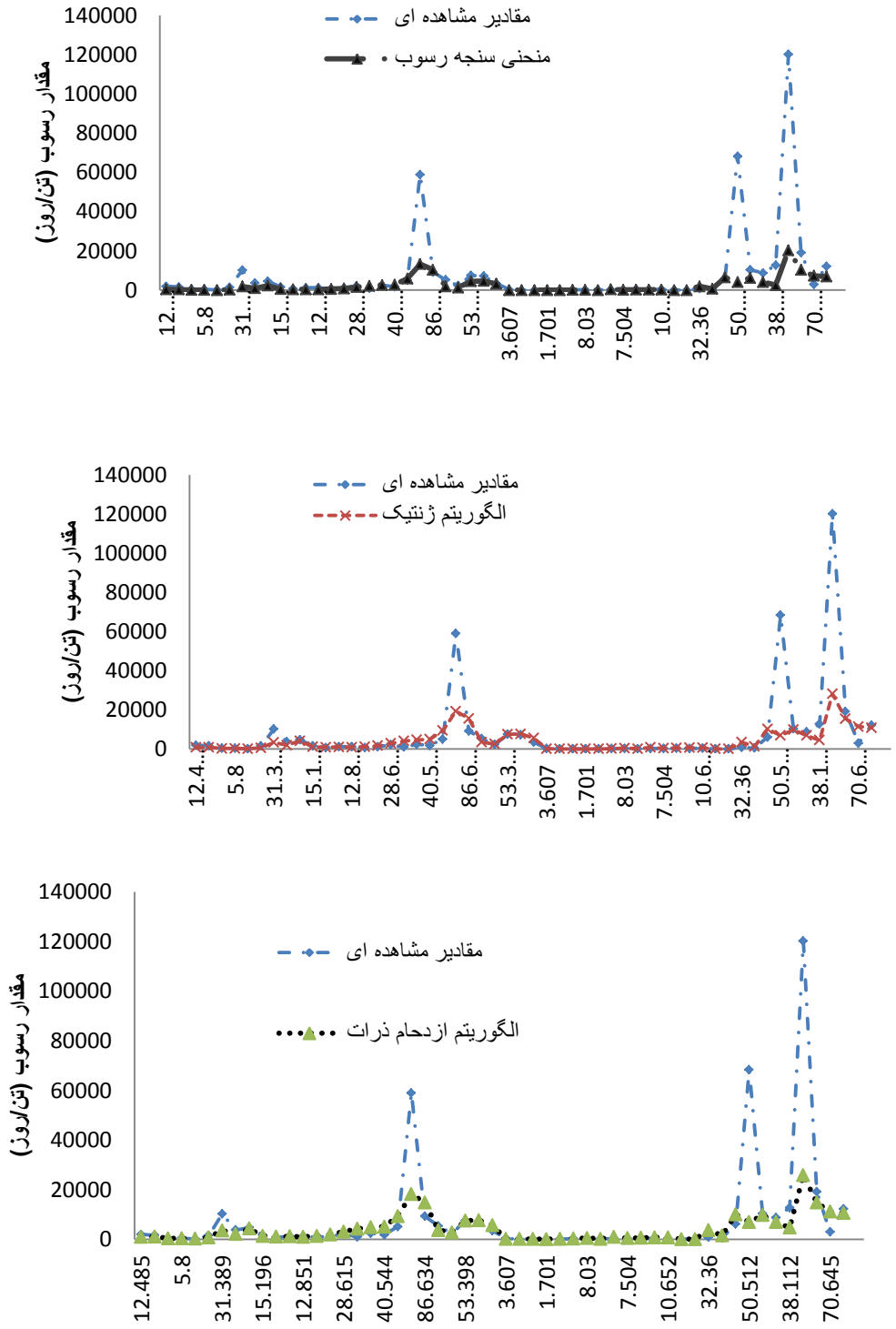
جدول(۴): خلاصه انواع پارامترهای بدست آمده از مدل‌ها در ایستگاه کهک

ایستگاه کهک					
مدل	CE	RMSE	R^2	b	a
الگوریتم ژنتیک	۰/۴۱۹۳	۳۳۴۸۴/۴۷	۰/۵۵	۱/۵۰۷	۱۸/۶۸
الگوریتم ازدهام ذرات	۰/۳۶۸۶	۳۴۷۵۴/۳۱	۰/۵۴۵	۱/۷۰۲۸	۵/۲۱۱
منحنی سنجه رسوب	۰/۳۳۲۹	۳۵۷۲۳/۹۰	۰/۵۳۴	۱/۷۰۱	۴/۸۹۷

در شکل (۳): مقادیر اندازه‌گیری شده در مقابل پیش بینی شده رسوب معلق حول خطی با زاویه ۴۵ درجه برای مدل‌های مختلف برای دوره آزمون ایستگاه کهک نشان داده شده است. همچنین به‌منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های مورد آزمون و تعیین میزان دقت مدل ها علاوه بر مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب نش ستکلیف و ضریب تبیین از ترسیم نمودارهای مقادیر برآوردی رسوب معلق توسط مدل‌ها و مقادیر واقعی رسوب برای دبی‌های جریان، نیز استفاده شده است. (شکل ۴).

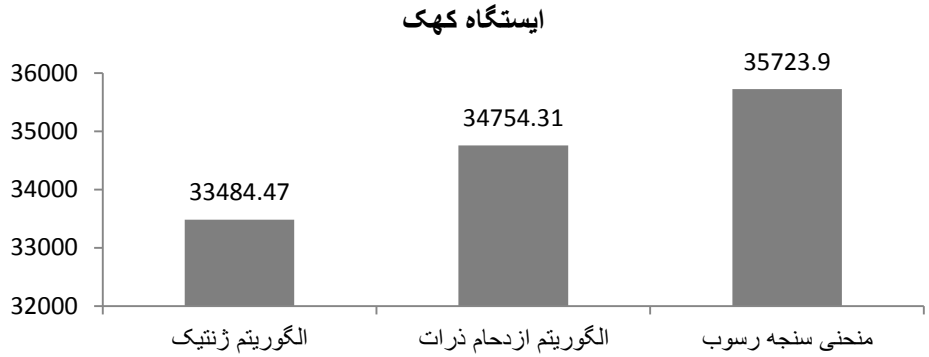


شکل (۳): مقادیر اندازه گیری شده و محاسبه شده رسوب معلق برای مدل‌های مختلف برای دوره آزمون ایستگاه کهک



شکل (۴): مقایسه مقادیر محاسبه شده رسوب معلق برای مدل‌های مختلف در دوره آزمون ایستگاه کهک

با توجه به شکل (۳) مشاهده می‌شود که نتایج بدست آمده از هر سه مدل الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات و منحنی سنجه رسوب در مقادیر پایین رسوب حول خط ۴۵ درجه بخوبی پراکنده هستند ولی در مقادیر بالای رسوب از خط ۴۵ درجه فاصله دارند. همانطور که در قسمت مواد و روش‌ها بیان شد هدف از این تحقیق مینیم کردن جذر میاگین مربعات خطا بین داده های مشاهده ای و مقادیر بدست آمده از معاله منحنی سنجه رسوب با استفاده از مدل‌های الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات می‌باشد. در شکل(۵) مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در مدل‌های مختلف در ایستگاه کهک نشان داده شده است.



شکل (۵): مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا در مدل‌های مختلف در ایستگاه کهک

همانطور که شکل (۵) نشان می دهد، مدل الگوریتم ژنتیک با مقدار ۳۳۴۸۴/۴۷ تن در روز در ایستگاه کهک دارای کمترین مقدار جذر میانگین مربعات خطا میباشد. و پس از الگوریتم ژنتیک الگوریتم ازدحام ذرات با مقدار ۳۴۷۵۴/۳۱ تن در روز در ایستگاه کهک دارای کمترین مقدار تابع هدف می‌باشد. با توجه به اینکه در این تحقیق علاوه بر مقادیر تابع هدف پارامترهای ضریب تبیین و ضریب نش-ستکلیف نیز برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شده است بخوبی از جدول (۴) مشخص است که الگوریتم ژنتیک با دارا بودن مقادیر ضریب تبیین و ضریب نش-ستکلیف ۰/۵۵ و ۰/۴۱۳۹ برای ایستگاه کهک دارای بالاترین مقادیر از بین مدلها میباشد. همچنین الگوریتم ازدحام ذرات نیر با دارا بودن مقادیر ضریب تبیین و نش – ستکلیف ۰/۵۴۵ و ۰/۳۶۸۶ دارای عملکردی بهتر از مدل منحنی سنجه رسوب است.با توجه به شکل (۴) می‌توان دریافت که برای دبی های بالا مدل‌های الگوریتم ژنتیک و ازدحام ذرات جواب‌های نزدیک‌تری با مقدار واقعی رسوب دارد و مدل منحنی سنجه رسوب تقریب کمترین را با مقدار واقعی دارد. بطور مثال برای دبی ۱۰۰/۱۳۷ متر مکعب بر ثانیه در ایستگاه کهک مقدار رسوب مشاهده شده ۵۸۹۷۱/۸۲ تن بر روز است و مقدار محاسبه شده برای مدل‌های الگوریتم ژنتیک، الگوریتم ازدحام ذرات به ترتیب ۱۹۳۴۹/۶۴ و ۱۸۱۷۷/۸۳ می‌باشد ولی مقدار محاسبه شده توسط مدل منحنی سنجه رسوب برابر ۱۳۲۹۰/۲۶تن در روز می باشد. این نتایج نشان می دهند که مدل الگوریتم ژنتیک برای دبی های اوج جواب نزدیکتری به مقدر واقعی نسبت به منحنی سنجه رسوب بدست می آورد.

نتیجه‌گیری:

هدف از انجام این تحقیق بکارگیری الگوریتم‌های ژنتیک و ازدحام ذرات در بهینهسازی ضرایب منحنی سنجه رسوب دربرآورد رسوب معلق می‌باشد. که از داده‌های ۳۰ ساله دبی جریان ودبی رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه کهک بر روی رودخانه سیستان در جنوب شرق ایران استفاده شده است. مدل‌های

الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات در نرم افزار متلب کدنویسی شد. پس از اینکه مدل‌ها با ۷۰ درصد داده‌ها مورد آموزش قرار گرفت ۳۰ درصد داده‌ها در هر دو ایستگاه مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از مدل‌ها که در واقع کمینه کردن خطای حاصل از داده‌های محاسبه شده و مقادیر واقعی می‌باشد نشان‌دهنده این واقعیت است که الگوریتم ژنتیک مقادیر تابع هدف را نسبت به الگوریتم ازدحام ذرات و منحنی سنجه رسوب به مقدار بهتری توانسته است کمینه نماید. همچنین پارامترهای ارزیابی دیگر از قبیل ضریب تبیین و ضریب نش- ستکلیف نیز در ارزیابی مدل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این ارزیابی‌ها نیز مبین این واقعیت است که الگوریتم ژنتیک دارای مقادیر ضریب تبیین و ضریب نش – ستکلیف بالاتری نسبت به دو مدل دیگر می‌باشد. و همچنین الگوریتم ازدحام ذرات نیز بعد از الگوریتم ژنتیک دارای دقت بالاتری نسبت به منحنی سنجه رسوب می‌باشد.

منابع :

آذرافزا، ه.، ح. رضایی، ج. بهمنش و س. بشارت. ۱۳۹۱. مقایسه نتایج بکارگیری الگوریتم‌های PSO، GA، SA، در بهینه‌سازی سیستم‌های تک مخزنه (مطالعه موردی: سد شهر چای، ارومیه). نشریه آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶، شماره ۵، ص ۱۱۰۱- ۱۱۰۸.

اکبرپور، م. ج. و ج. موسوی.۱۳۸۵ . نخبه‌گزینی از جواب‌های شدنی الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی بهره‌برداری از سیستم‌های چند مخزنه، دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

بابایی، ا.، ح. پهلوانی و ع. سلاجقه. ۱۳۸۹. ارزیابی کارایی مدل شبکه عصبی مصنوعی در تخمین هوشمند رسوب معلق روزانه در چند ایستگاه هیدرومتری منتخب در استان گلستان، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران،جلد ۱۳، شماره۴، ص ۶۱-۶۴.

بیضایی، م.، م. عرفانیان، ه. عبقری و ع. اسمعلی. ۱۳۹۰. ارزیابی روش‌های منحنی سنجه رسوب در برآورد بار معلق رودخانه‌های آذربایجان شرقی. هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیز داری. ۷ و ۸ اردیبهشت ۱۳۹۰.

عبدی دهکردی، م.، م. مفتاح هلقی، ا. ا. دهقانی و م. حسام.۱۳۹۰. کاربرد الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی ضرائب معادله سنجه رسوب. پنجمین کنفرانس سراسری آبخیز داری و مدیریت منابع آب و خاک. ۹ و ۱۰ اسفند ماه ۱۳۹۰.

دهقانی، ا. ا.، م. ا. زنگانه، ا. مساعدی و ن. کوهستانی. ۱۳۸۸.مقایسه تخمین بارمعلق به دو روش منحنی سنجه رسوب وشبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی رودخانه دوغ استان گلستان). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ،جلد شانزدهم، ویژه نامه۱-الف.

نژادنادری، م.، م. ر. حسامی کرمانی و س. هاشمی نسب. ۱۳۹۰.کاربرد الگوریتم‌ها در تعیین سیاست بهره‌برداری بهینه از مخزن سد کلان ملایر. اولین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی. اولین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقابی. دانشگاه علم و صنعت ایران. تهران.

Altunkaynak.A . 2009. Sediment load prediction by genetic algorithms. J. Adv.Engineering Software.40: 928-934.

Ebrahimi, H., E. Jabbari and M. Ghasemi. 2013. Application of Honey-Bees Mating Optimization on Estimation of Suspended Sediment Concentration. World Applied Sciences Journal 22 (11): 1630-1638.

Goldberg, D. 1989. Genetic algorithms in search optimization and machine learning.Journal of Hydrology Research. 8:354-361.

Nash, J. E., J. V. Sutcliffe .1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles, J. Hydrol. 10: 282–290.

Mohammad Reza pour, O., T. SH. Lee and A. A. Dehghani. 2011. Genetic algorithm model for the relation between flow discharge and suspended sediment load (Gorgan River in Iran). Electronic Journal of Geotechnical Engineering.16: 539-555.

Shi, Y. and R. Eberhart. 1998. Parameter selection in particle Swarm Optimization. In: Porto VW, Saravanan N, Waagen D and Eiben AE (eds). Evolutionary Programming. 7:611-616.

Compression of Genetic Algorithm and Particle Swarm Algorithm models for Optimizing Coefficients of Sediment Rating Curve in estimation of Suspended Sediment in Sistan River ;;Case Study Kohak station.

Omolbani mohammad reza pour[1], Parviz Nour jou[2], Mohammad Javad Zeynali [3]

Abstract

Estimation of sediment concentration in rivers is very important for water resource projects planning and managements. Various models have been developed so far to identify the relation between discharge and sediment load. One of the most common methods for estimating sediment of rivers is sediment rating curve. For better estimation of the amount of sediment based on the sediment curve rating equation, it is possible to optimize its coefficients. One of the methods used for optimizing the coefficients of the sediment curve rating equation is taking advantage of meta-heuristic algorithms. Nowadays, optimization algorithms are used regularly for solving complex and non-linear problem. The main objective of this research is the use of genetic algorithms and particle swarm to optimize the relationship between discharge and sediment discharge in Kohak station on the Sistan River and comparison the results of these models with sediment rating curve. For the calculation of sediment discharge by the models initially necessary statistics and information including flow discharge and sediment concentrations have been measured since 1981-2011 in the stations are collected. Genetic Algorithm(GA) and Particle Swarm Algorithm(PSO) models were coded in MATLAB. After the models were trained with 70% to 30% of the data at both stations were tested. Evaluation parameters efficiency such as coefficient of determination (R^2), root mean square error (RMSE) and Nash-Sutcliffe coefficients (CE) are used in evaluating the models. The results showed that the genetic algorithm with 33484.47 values at Kohak station has lowest root mean square error in all models. After genetic algorithm, Particle swarm algorithm with 34754.31 values has lowest values of the objective function.

Key worlds: Metaheuristic Algorithms, optimization, Sistan River, suspended sediment.

[1] Assist. Prof., Dept of Water Eng., Faculty of Water and Soil., University of Zabol
[2] Assist. Prof., Dept of Water Eng., Faculty of Water and Soil., University of Zabol
[3] M.Sc. Student. Dept of Water Eng., Faculty of Water and Soil., University of Zabol