Archive of SID

هیدروژئولوژی، سال چهارم، شماره۱، تابستان ۱۳۹۸
Hydrogeology, Volume 4, No. 1, Summer 2019

کاربرد الگوریتم رقابت استعماری در تخمین مقادیر بار معلق رسوبی

سمیّه امامی[۱*]، یحیی چوپان[۲]

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
* نویسنده مسئول: somayehemami70@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

چکیده

پدیده فرسایش و انتقال رسوب از پیچیده‌ترین مسائل هیدرودینامیکی است که تعیین دقیق معادلات حاکم بر آن به‌دلیل تأثیر پارامترهای مختلف، به آسانی میسر نیست. حوضه‌های جنوب شرقی دریاچه ارومیه به علت برخورداری از شرایط هیدرولوژیکی خاص، از میزان بالای تولید رسوب برخوردار می‌باشند. هدف از انجام این تحقیق به‌کارگیری و مقایسه الگوریتم‌های رقابت استعماری و ژنتیک در تخمین بار معلق رسوبی روزانه رودخانه زرینه‌رود می‌باشد. به این منظور داده‌های دبی روزانه و بار معلق رسوبی ایستگاه رسوبی واقع در رودخانه زرینه‌رود برای سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۹۲ مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از دو روش پیشنهادی با مقادیر واقعی رسوب مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم‌های رقابت استعماری و ژنتیک مقدار مجذور مربعات خطا (RMSE)، به ترتیب (mg/L) ۲۳۷ و (mg/L) ۲۲۹ می‌باشد. هم‌چنین مقادیر ضریب تبیین (R^2)، در مرحله صحت‌سنجی نیز برای الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک به ترتیب ۰/۸۸۹و ۰/۸۳۵ بوده است. نتایج حاصل از این تحقیق، انعطاف‌پذیری، توانایی و دقت بالای الگوریتم رقابت استعماری را در مقایسه با نتایج روش الگوریتم ژنتیک به اثبات می‌رساند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم رقابت استعماری، رسوب، بار معلق، زرینه‌رود.

مقدمه

در طرح‌های مهندسی رودخانه، تخمین مقدار بار رسوبی رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار است. رودخانه‌های کشور ما در مقایسه با رودخانه‌های سایر مناطق جهان، رسوب بالایی را حمل می‌کنند. این امر نشان‌دهنده شدت فرسایش و وضعیت نامناسب منابع طبیعی (فشار بیش از حد به مراتع، تخریب اراضی جنگلی و بهره‌برداری نامناسب از اراضی کشاورزی) می‌باشد. میزان رسوب بالا علاوه بر این‌که ما را به تفکری برای ارائه راه‌حل هایی جهت کاهش فرسایش ویژه رهنمون می‌کند، شناخت وضعیت رسوب‌دهی حوضه و برآورد دقیق میزان رسوب خروجی را نیز ضروری می‌سازد. میزان بار رسوبی حوضه‌ای که از یک مقطع مشخص از رودخانه می‌گذرد، به‌طور 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 حوضه 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 کف‌کنی و یا تراز افزایی، تغییر

www.SID.ir

Archive of SID

دانه‌بندی مصالح و شکل مسطحه و نیم‌رخ طولی آن را در پی دارد. در ساماندهی رودخانه‌ها که به‌منظور مهار فرسایش و رسوب‌گذاری و یا تثبیت بستر و دفع سیلاب انجام می‌گیرد، آگاهی از میزان رسوب حمل شده توسط رودخانه و تأثیرپذیری آن از اقدامات حفاظتی ضروری می‌باشد. به‌طور کلی از نظر برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه 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. بررسی پیشینه مطالعات بیان‌گر آن است که تا قبل از سال ۱۹۳۰ توجه اصلی در عرضه رسوب به ارائه معادلات برای تعیین بار بستر معطوف بوده است. تعیین بار معلق و ارائه روابط محاسباتی آن نیز به دهه‌های سی و چهل میلادی معطف می‌گردد. دهه هشتاد را می‌توان سرآغاز تحولی بزرگ در عرصه مطالعه و تعیین رسوب رودخانه‌ها قلمداد نمود. در این دوران با ورود رایانه‌ها به حوزه مطالعات و به تبع آن توسعه سریع مدل های کامپیوتری، بررسی فرآیند انتقال و تعیین کمیت رسوب حمل شده شتاب بیش‌تری به خود گرفت. 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 مسئله نگاشت غیرخطی است و روش‌های نوین (الگوریتم‌های بهینه‌سازی، شبکه‌های عصبی مصنوعی) به‌عنوان ابزاری توانمند در حل این گونه مسائل محسوب می‌شوند. الگوریتم‌های فرا ابتکاری، مجموعه الگوریتم‌هایی برای حل مسائل پیچیده بهینه‌سازی می باشند که به‌صورت تصادفی اما هدفمند و ساده در فضای جواب مسئله به دنبال جواب بهینه مطلق حرکت می‌نمایند. تحقیقات متعددی در خصوص تخمین و بهینه‌سازی رسوب رودخانه‌ها با استفاده از روش‌هایی هم‌چون الگوریتم‌های فرا ابتکاری ژنتیک، PSO و انواع شبکه‌های عصبی پرداخته شده است که در ادامه به آن‌ها اشاره می‌گردد. از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعه‌ی کیسی (۲۰۰۵) اشاره کرد. وی برای مدل‌سازی بار معلق رسوبی از مدل ANN بهره گرفته و نتایج حاصله را با منحنی سنجه رسوبی (SRC) و رگرسیون چند متغیره (MLR) مقایسه نمود. 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. 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 پنج‌گانه فوق و مقایسه این نتایج با مقادیر اندازه‌گیری شده، معادله اصلاح شده اینشتین پاسخ واقعی‌تری را به دست داده است. دهقانی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی به تخمین بار معلق رسوبی رودخانه‌ی بهشت آباد پرداختند. نتایج نشان داد که مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی از قابلیت بالایی در تخمین بار معلق رسوبی برخوردار است. رجائی از مدل ANFIS برای شبیه‌سازی بار معلق رسوبی استفاده کرده و نتایج حاصله را با مدل‌های ANN، منحنی سنجه رسوبی و رگرسیون چند متغیره مقایسه نمود. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۳) 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. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۴) 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

www.SID.ir

Archive of SID

رود برای آموزش و صحت‌سنجی 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 میلی‌گرم در لیتر نسبت به سایر مدل‌ها عملکرد بهتری داشت. سئوتلالی و بکدال (۲۰۱۵) برای کاهش میزان فرسایش شیاری در جنوب منطقه شرق آفریقای جنوبی، ضمن شناسایی عوامل شیب، طول، درصد پوشش گیاهی و بافت خاک به عنوان عوامل مؤثر بر میزان فرسایش، به این نتیجه رسیدند که وجود پوشش گیاهی و ساخت شیب ملایم می‌تواند اثر منفی بر میزان فرسایش داشته باشد. 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. یوسفی و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن، عوامل مؤثر بر زمین لغزش را مشخص و هم‌چنین با بهره‌گیری از روش فازی در محیط GIS اقدام به مدل‌سازی و تعیین مناطق حساس به لغزش در حوضه آبخیز طالقان نمودند. نتایج نشان داد سناریو با شیب ۰/۲۳۷ و سطح زیر نمودار ۰/۳ کارایی بالاتری را نسبت به سایر مدل‌ها نشان داده و به عنوان مدل نهایی معرفی گردید. میرهاشمی و همکاران (۱۳۹۶) به ارزیابی الگوریتم‌های داده‌کاوی در بررسی و پیش‌بینی وضعیت آبخوان دشت قزوین اقدام نمودند. ایشان با استفاده از سه الگوریتم نرم‌افزار داده‌کاوی 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 تعرق و تقاضای آب کشاورزی می‌باشد. محمدرضاپور و همکاران (۱۳۹۴) 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. فغفوری و همکاران (۱۳۹۶) عوامل مؤثر بر رسوب‌دهی حوضه سیدآباد را با استفاده از روش‌های آماری تعیین نمودند. در این پژوهش به منظور شناسایی عوامل مؤثر بر میزان فرسایش و تولید رسوب، فرسایش بین شیاری حوضه سیدآباد به کمک متوسط شدت بارش ۳۰ دقیقه‌ای با دوره تجزیه و تحلیل عاملی، مدل رگرسیون چند متغیره، لجستیک و مدل اسکالوگرام برای تحلیل آماری نتایج استفاده شد. نتایج به دست آمده، سیاست‌گذاری‌ها و برنامه‌ریزی های لازم را به منظور کاهش حجم رواناب و افزایش پوشش گیاهی در اولویت اقدامات کنترل میزان فرسایش و رسوب اتخاذ کرد. قربانی و دهقانی (۱۳۹۶) به مقایسه روش‌های شبکه عصبی بیزین و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین رسوبات معلق رودخانه 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. طبق بررسی مطالعات پیشین صورت گرفته در زمینه تخمین و مدل‌سازی بار رسوبی رودخانه‌ها، اکثر مطالعات، مربوط به کاربرد روش‌های شبکه عصبی مصنوعی، برنامه‌ریزی بیان ژن و الگوریتم‌هایی همانند ژنتیک و... در این زمینه بوده و مطالعات بسیار اندکی در زمینه کاربرد روش‌هایی مانند الگوریتم رقابت استعماری (ICA) صورت پذیرفته است. هم‌چنین طبق بررسی مطالعات پیشین مطالعه‌ای در زمینه کاربرد الگوریتم رقابت استعماری به‌ویژه در حوضه رودخانه زرینه‌رود صورت نپذیرفته است و هم‌چنین با توجه به عملکرد مطلوب سیستم‌های هوشمند و با توجه به صرف هزینه

www.SID.ir

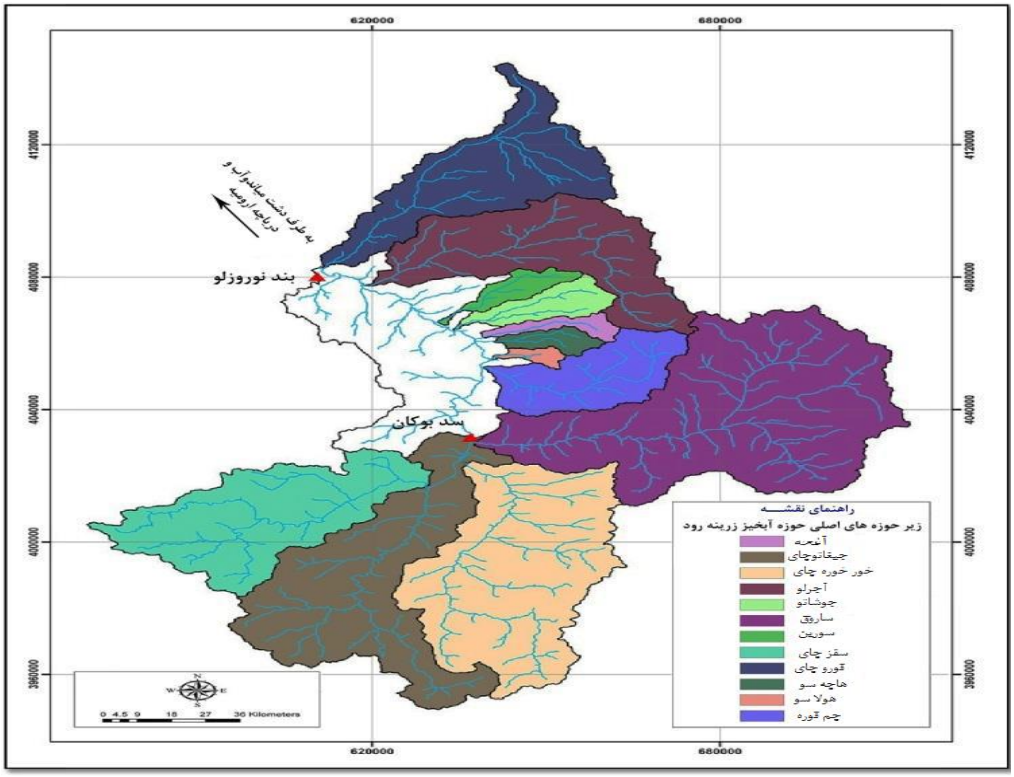
Archive of SID

و زمان کم‌تر و در حین حال رسیدن به نتایج دقیق، در این تحقیق برای اولین بار از الگوریتم رقابت استعماری که یکی از قدرتمندترین الگوریتم‌های بهینه‌سازی می‌باشد، در تخمین بار معلق رودخانه زرینه‌رود استفاده شد. در این راستا ابتدا به تشریح جزئیات پیاده‌سازی مدل‌های ارائه شده پرداخته و سپس نتایج حاصل با دستاوردهای حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه‌ی زرینه‌رود در شمال غربی ایران و در جنوب شرقی دریاچه‌ی ارومیه واقع شده است. این حوضه‌ی 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 حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود حدود ۱۳۸۹۰ کیلومتر مربع است. سد مخزنی زرینه رود روی رودخانه زرینه‌رود در استان کردستان و در فاصله ۸۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان میاندوآب و در شرق شهرستان بوکان احداث شده است. میانگین سالانه بارندگی حوضه‌ی آبریز زرینه‌رود حدود ۵۲۷ میلی‌متر برآورد شده است. میانگین سالانه‌ی دما در محل سد زرینه‌رود ۱/۸- درجه سانتی گراد 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 رودخانه‌ی زرینه‌رود بر روی نقشه نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایی از حوزه آبخیز رودخانه زرینه‌رود (عبدی و همکاران، ۱۳۹۳).

برای محاسبه دبی رسوب توسط هر یک از الگوریتم‌ها، ابتدا آمار و اطلاعات لازم جمع‌آوری شده از قبیل دبی روزانه و بار معلق رسوبی سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۲ ایستگاه ساریقمیش بر روی رودخانه زرینه‌رود به عنوان ورودی استفاده شد و به‌وسیله آن مقادیر بار معلق روزانه تخمین زده شد. پارامترهای آماری روزانه ایستگاه زرینه‌رود برای دوره‌های آموزش و آزمون در جدول ۱ ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

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

	نوع داده	X	X_{min}	X_{max}	S_x	CS_x
داده‌های آموزشی	دبی	۵۷	۰/۳۰	۱۰۲۲	۱۲۱	۵/۱۲
	رسوب	۳۱۵	۴	۷۲۵۱	۷۳۴/۲	۵/۹۴
داده‌های تست	دبی	۴۲	۰/۱۰	۴۶۹	۸۹	۳/۲
	رسوب	۲۸۶/۹	۲	۷۰۳۶	۷۲۶/۶	۵/۸۷

جهت انجام محاسبات باید اطمینان کافی از همگن بودن داده‌ها داشت. برای این منظور آزمون همگنی داده‌ها در طول دوره آماری انتخابی بررسی شد. نتایج نشان داد که داده‌ها در ایستگاه زرینه‌رود دارای همگنی می‌باشند. پس از اطمینان از همگنی، از دو سوم داده‌ها (۷۰ درصد داده‌ها) برای آموزش مدل‌ها و یک سوم (۳۰ درصد) باقی‌مانده جهت صحت‌سنجی پارامترهای به دست آمده با استفاده از دو الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک استفاده شده است.

تعریف مسئله

تابع هدف

هدف از انجام این تحقیق حداقل نمودن اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده رسوب واقعی Q_o و مقادیر محاسبه شده رسوب Q_m با استفاده از دو مدل مورد استفاده می‌باشد. تابع هدف مدنظر در این پژوهش به‌صورت رابطه ۱ در نظر گرفته شده است:

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

که در این رابطه، u فاکتور ورودی و g (u) تابع هدف می‌باشد. ساختارهای ورودی (جهت تعیین ساختارهای ورودی مناسب با استفاده از نرم‌افزار متلب کدهایی برای هر دو الگوریتم نوشته شد و پس از آزمایش کدها، بهترین ساختار ورودی بر اساس پارامترهای آماری ذکر شده در بخش قبل برای مدل‌ها انتخاب گردید) مورد استفاده جهت تخمین بار معلق رسوبی رودخانه زرینه‌رود به‌صورت رابطه‌های ۲ تا ۴ می‌باشد:

$$Qr_t \qquad (۲)$$

$$Qr_t, Qr_{t-1} \qquad (۳)$$

$$Qr_t, Qr_{t-1}, Sr_{t-1} \qquad (۴)$$

که در این روابط، Qr_t و Sr_t نشان‌دهنده‌ی دبی و بار معلق رسوب در t روز می‌باشند. برای تعیین ساختارهای ورودی مناسب، مقادیر مناسب بر طبق جدول ۱ مانند جمعیت اولیه، سیاست جذب و... برای بخش‌های مختلف الگوریتم رقابت استعماری انتخاب شد.

الگوریتم‌های مورد استفاده

در مراحل مختلف انجام این پژوهش، به‌منظور تخمین مقادیر بار رسوبی، الگوریتم‌های رقابت استعماری (ICA) و ژنتیک (GA) با چندین ساختار ورودی که شامل دبی روزانه و بار معلق رسوبی بود، مورد استفاده قرار گرفت.

الگوریتم رقابت استعماری (ICA)

به‌طور کلی پارامترهای الگوریتم رقابت استعماری بدین صورت تعریف می‌شوند (آتش‌پز گرگری و لوکاس، ۲۰۰۷):

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.

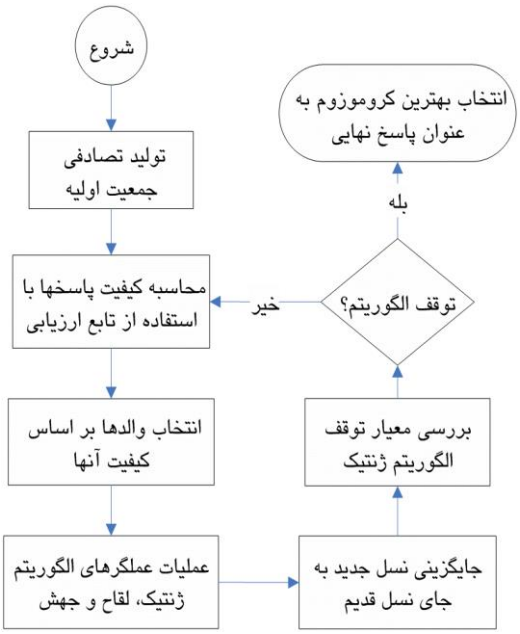
www.SID.ir

Archive of SID

- هزینه‌ی 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 وگرنه به ۲ برو.

الگوریتم ژنتیک

این الگوریتم مبتنی بر تکرار است و اصول اولیه آن از علم ژنتیک اقتباس گردیده است. در الگوریتم ژنتیک (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 می شود (گلدبرگ، ۱۹۸۹). طرح کلی الگوریتم ژنتیک به‌صورت شکل ۲ می‌باشد.



شکل ۲- طرح کلی الگوریتم ژنتیک.

در الگوریتم‌های بهینه‌سازی پارامترهایی وجود دارند که تغییرات آن‌ها باعث تغییر عملکرد الگوریتم می‌گردد و در سرعت همگرایی و مرغوبیت جواب‌ها تأثیرگذار خواهند بود. به‌دست آوردن بهترین پارامترها با سعی و خطا همراه است. لذا به‌منظور بهتر شدن کارایی الگوریتم‌های ژنتیک و رقابت استعماری، سعی و خطاهایی برای به‌دست آوردن بهترین مقدار برای هر پارامتر انجام شد که این پارامترها در جدول‌های ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ICA.

نام پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد کشورها	۵۰۰
تعداد امپراطوری‌ای اولیه	۳۰
تعداد دهه‌ها (تکرارهای الگوریتم)	۱۰۰
تعداد کشورها	۵۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک.

نام پارامتر	مقدار پارامتر
تعداد جمعیت اولیه	۴۰
حداکثر تعداد نسل	۲۰۰۰
نسل باقی‌مانده	۵۰۰
تعداد فرزندان نخبه	۴
درصد جهش فرزندان	۰/۷۵

جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک در تخمین مقادیر بار رسوبی، چندین ساختار ورودی که شامل دبی روزانه و بار معلق رسوبی روزهای پیشین است، مورد استفاده قرار گرفت و مقادیر بار معلق رسوبی روزانه تخمین زده شد.

معیارهای کارایی مدل

با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین و مجذور مربعات خطا مطابق رابطه‌های ۵ و ۶، قابلیت روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[S_{real} - S_{predict}\right]^2} \quad (۵)$$

$$R^2 = \frac{\sum_1^n (calc - avg.obs)^2}{\sum_i^n (obs - avg.obs)^2} \quad (۶)$$

که در آن، Sreal مقدار واقعی، Spredict 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.

نتایج و بحث

در این تحقیق، دبی روزانه و بار معلق رسوبی سال‌های ۹۲-۱۳۸۶ به عنوان ورودی هر دو الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک استفاده شد و توسط این دو مدل مقادیر بار معلق روزانه تخمین زده شد. هم‌چنین با استفاده از دو پارامتر آماری مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و (R^2)، عملکرد هر دو مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. برای مقایسه بهتر، کلیه داده‌های ورودی و خروجی به‌کار رفته در پژوهش، به روش مطرح شده لاروس (لاروس، ۲۰۰۵)، طبق فرمول‌های ۷ تا ۹ در بازه [L , H]، در این نوشتار معادل [۱و۰] انتخاب گردید (امامی و همکاران، ۱۳۹۶). داده‌ها پس از نرمالیزه شدن وارد هر دو مدل شدند.

$$X^* = mX_i + b \quad (۷)$$

$$m = \frac{H-L}{Max\,(X)-Min\,(X)} \quad (۸)$$

$$b = \frac{Max\,(X)L-Min\,(X)H}{Max\,(X)-Min\,(X)} \quad (۹)$$

در این X* رابطه متغیر اصلی و X_i متغیر نرمال‌سازی شده است. پس از معرفی ساختارهای ورودی و یافتن مقادیر بهینه پارامترهای مؤثر الگوریتم (ساختار بهینه) و به‌کارگیری آن‌ها در مدل و هم‌چنین پس از آموزش مدل‌های استخراج شده بر اساس ۷۰ درصد داده‌ها، از مدل‌های ساخته شده در مرحله بعدی برای صحت‌سنجی 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 ۴، نتایج حاصل از آموزش و صحت‌سنجی الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک را در تخمین مقادیر بار معلق رسوبی ارائه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- ارزیابی کارایی مدل پیشنهادی در تخمین بار معلق رسوبی.

نتایج داده‌های آموزشی حاصل از (ICA)		نتایج داده‌های تست حاصل از (ICA)		نتایج داده‌های آموزشی حاصل از (GA)		نتایج داده‌های تست حاصل از (GA)	
RMSE (mg/L)	R^2	RMSE (mg/L)	R^2	RMSE (mg/L)	R^2	RMSE (mg/L)	R^2
۲۳۲	۰/۸۸۲۶	۲۳۷	/۸۹۹۰ ۰	۲۷۵	۰/۸۱۶۰	۲۷۰	۰/۸۳۲۰

همان‌طور که از جدول ۴ مشاهده می‌شود، الگوریتم رقابت استعماری به ترتیب دارای کم‌ترین مقدار مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE=237) و بیشترین ضریب تبیین (R^2=0.8990) در مقایسه با الگوریتم ژنتیک می‌باشد. بنابراین می‌توان این‌گونه اظهار کرد که الگوریتم ICA نسبت به الگوریتم ژنتیک از قابلیت بالایی در تخمین بار معلق رسوبی برخوردار است. در جدول‌های ۵ و ۶، مقادیر حداکثر رسوب تخمین زده شده و حجم کلی معلق بار معلق رسوبی توسط مدل الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک با مقادیر واقعی مقایسه شده است.

جدول ۵- مقایسه حداکثر رسوب پیش‌بینی شده با مقادیر واقعی.

حداکثر مقادیر رسوبی ۳۰۰۰<(T/day)	نتایج حاصل از (ICA) (T/day)	نتایج حاصل از (GA) (T/day)	درصد خطای نسبی (٪)	
			ICA	GA
۷۰۳۶	۵۱۸۰	۴۶۲۵	۲۶	۳۴
۶۱۰۱	۵۷۶۰	۵۹۷۰	۵/۶	۲/۲
۴۹۷۷	۳۷۵۱	۳۶۱۰	۲۴/۶	۲۷/۴
۴۱۰۲	۳۸۷۱	۳۸۴۰	۵/۷	۶/۴
۳۸۰۶	۲۵۲۰	۱۶۹۷	۳۳	۳۴
۳۷۴۹	۳۱۱۴	۲۷۶۸	۱۶/۹	۲۶/۲
۳۱۷۷	۴۰۱۲	۵۰۳۲	۲۶	۵۸

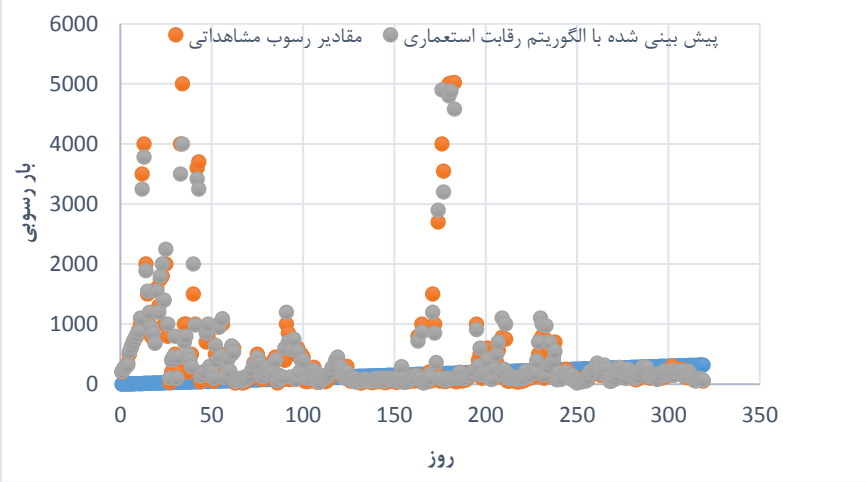
جدول ۶- مقایسه‌ی مجموع مقادیر رسوبی پیش‌بینی شده توسط دو مدل و مقادیر واقعی.

مقادیر واقعی (بر حسب تن)	نتایج حاصل از (ICA) (بر حسب تن)	نتایج حاصل از (GA) (بر حسب تن)	درصد خطای نسبی (٪)	
			ICA	GA
۱۰۴۷۲۷	۱۲۸۷۲۳	۱۴۰۲۵۴	۲۲	۳۳/۹

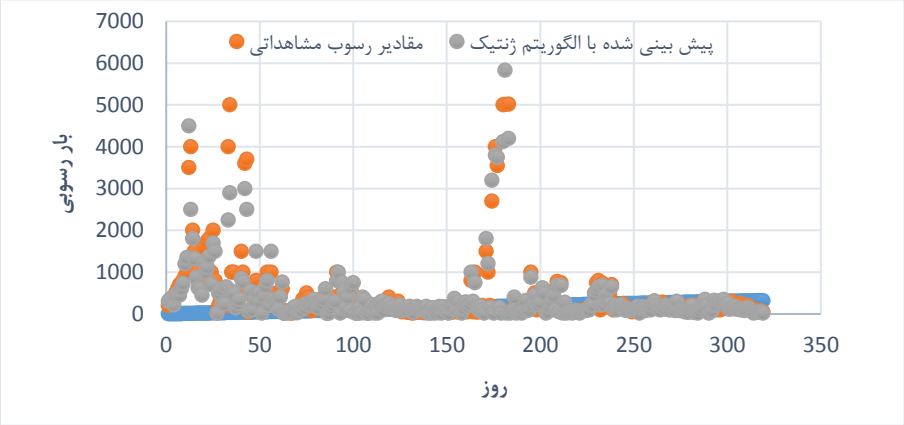
از آن‌جایی‌که تخمین حجم کلی بار معلق رسوبی نقش به‌سزا و تعیین کننده‌ای در مدیریت منابع آب دارا می‌باشد، به همین منظور مقادیر حجم کلی بار معلق رسوبی توسط هر دو الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک پیش‌بینی گردید (جدول ۶). با توجه به نتایج مندرج در جدول مشاهده می‌شود مقدار رسوب تخمین زده شده توسط الگوریتم رقابت استعماری برابر با ۱۲۸۷۲۳ می‌باشد که خطای ۲۰٪ نسبت به مقدار واقعی (مشاهداتی) دارد و بیانگر این مطلب است که مقادیر حداکثر رسوب تخمین زده شده و حجم کلی بار معلق رسوبی توسط الگوریتم رقابت استعماری به مقادیر واقعی (مشاهداتی) بسیار نزدیک می‌باشد. در شکل‌های ۳ و ۴ مقادیر تخمین زده شده توسط دو مدل الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک با مقادیر واقعی (اندازه‌گیری شده) مقایسه شده است. همان‌گونه که از شکل‌ها نیز مشخص است نتایج حاصل از تخمین مقادیر رسوب توسط الگوریتم رقابت استعماری نسبت به الگوریتم ژنتیک به مقادیر واقعی نزدیک‌تر بوده و این کارایی الگوریتم مورد نظر را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده توسط الگوریتم ICA.



شکل ۴- مقایسه‌ی مقادیر مشاهداتی و تخمین زده شده توسط الگوریتم GA.

با توجه به نتایج به‌دست آمده، می‌توان اظهار نمود نتایج حاصل از اجرای الگوریتم رقابت استعماری (ICA) نسبت به الگوریتم ژنتیک در تخمین و مقادیر بار معلق رسوبی رضایت بخش بوده و با استفاده از مدل‌سازی ریاضی فرآیند تکامل اجتماعی- سیاسی از سرعت مناسب، انعطاف‌پذیری و کارایی بالایی در مقایسه با الگوریتم ژنتیک برخوردار است. در حالت کلی از آنجا که پیش‌بینی کم‌تر از حد معمول میزان رسوب کل مشکلات عدیده‌ای در بهره‌برداری و استفاده بهینه از منابع آبی موجود ایجاد می‌کند، استفاده از روش‌های فرا ابتکاری که توانایی بالایی در این زمینه از خود نشان داده‌اند، برای تخمین میزان رسوب معلق توصیه می‌شود.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر، ارزیابی قابلیت عملکرد الگوریتم رقابت استعماری در تخمین مقادیر بار معلق رسوبی رودخانه‌ی زرینه‌رود و مقایسه نتایج حاصل از آن با نتایج الگوریتم ژنتیک در تخمین بار معلق رسوبی رودخانه زرینه‌رود می‌باشد. داده‌های مورد استفاده، آمار ۶ ساله دبی جریان و دبی رسوب اندازه‌گیری شده رودخانه زرینه‌رود 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 هر دو الگوریتم شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که الگوریتم رقابت استعماری در مقایسه با الگوریتم ژنتیک

www.SID.ir

Archive of SID

دارای بیش‌ترین دقت (با ضریب تبیین ۰/۸۸۲۶ و ۰/۸۹۹۰ در داده‌های صحت‌سنجی در تخمین مقادیر بار معلق در مقایسه با روش الگوریتم ژنتیک) در برآورد بار معلق رسوبی می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از آن بود که الگوریتم رقابت استعماری مقادیر تابع هدف را نسبت به الگوریتم ژنتیک به مقدار بهتری توانست کمینه نماید. لذا می‌توان نتیجه‌گیری 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. از آن‌جایی که طبق بررسی مطالعات پیشین، مطالعه‌ای در زمینه کاربرد الگوریتم‌های فرا ابتکاری در حوضه رودخانه زرینه‌رود صورت نپذیرفته است، بنابراین به مقایسه و بررسی نتایج دو الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک در تخمین مقادیر بار رسوبی رودخانه مذکور در تحقیق حاضر بسنده شد.

منابع

امامی، س.، همتی، م.، ارونقی، ه.، ۱۳۹۶. ارزیابی کارایی الگوریتم رقابت استعماری و ژنتیک در تخمین پارامترهای کیفی آب زیرزمینی (مطالعه موردی: دشت بستان‌آباد). هیدروژئولوژی، دوره ۲، شماره ۲، ۵۳-۴۴.

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 مدل-های شبکه‌ی عصبی مصنوعی. جغرافیا و توسعه، شماره ۴۱، ۲۰۰-۱۸۵.

دهقانی، ا. ا.، زنگانه، م. ا.، مساعدی، ا.، کوهستانی، ن.، ۱۳۸۸. مقایسه تخمین بار معلق به دو روش منحنی سنجه رسوب و شبکه عصبی مصنوعی. علوم کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۱۶، ۵۱-۳۶.

دهقانی، ا. ا.، محمدی، م.، هزارجریبی، ا.، ۱۳۸۹. تخمین رسوب معلق رودخانه بهشت‌آباد با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره ۱۷، ۱۶۸-۱۵۹.

رستگار، ح. و حبیبی، م.، ۱۳۹۰. ارزیابی پنج روش برآورد رسوب در رودخانه جگین در استان هرمزگان. مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره ۳، جلد ۳.

عبدی، ر.، یاسی، م.، سکوتی اسکوئی، ر. و محمدی، ا . ۱۳۹۳. ارزیابی نیاز زیست محیطی رودخانه زرینه‌رود با روش‌های هیدرولوژیکی. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، شماره ۶، جلد ۳، ۲۲۳-۲۱۱.

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.

قربانی، م. ع. و 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.

محمدرضاپور، ا. ب.، حقیقت‌جو، پ.، زینلی، م. ج.، ۱۳۹۴. مقایسه الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک در بهینه‌سازی ضرایب معادله منحنی سنجه رسوب در برآورد دبی رسوب معلق رودخانه سیستان؛ مطالعه موردی ایستگاه کهک. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، جلد ۲۲، شماره ۶، ۸۹-۷۶.

یوسفی، ح.، نوراللهی، ی. و صادقی، س. ۱۳۹۵. مدل‌سازی حساسیت به زمین لغزش با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و روش فازی در حوضه آبخیز طالقان. هیدروژئولوژی، دوره ۱، شماره ۲، ۸۲-۶۶.

میر هاشمی، س. ح.، حقیقت‌جو، پ.، میرزایی‌اصل شیرکوهی، ف.، پناهی، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی الگوریتم‌های داده‌کاوی در بررسی و پیش‌بینی وضعیت آبخوان دشت قزوین. هیدروژئولوژی، دوره ۲، شماره ۲، ۶۶-۵۴.

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

Atashpaz-Gargari, E., Lucas, C. 2007. Imperialist Competitive Algorithm: An algorithm for optimization inspired by imperialistic competition. IEEE Congress on Evolutionary Computation. 4661–4667.

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.

Goldberg, D. E. 1989. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley, Reading, Mass.

Kisi, O., 2005. Suspended sediment estimation using neuro-fuzzy and neural network approaches. Hydrological sciences journal. 50(4): 683-696.

Seutloali, K. E., Beckedahl, H. R., 2015. Understanding the factors influencing rill erosion on roadcuts in the south eastern region of South Africa. World Applied Sciences Journal. 21: 1311-1326.

www.SID.ir