تخمین پارامترهای مدل غیرخطی نوع پنجم ماسکینگام در روندیابی سیلاب با الگوریتم نوین شاهین هریس

سعید خلیفه[۱]، سعیدرضا خداشناس*[۲]، کاظم اسماعیلی[۳]، وحید خلیفه[۴]

تاریخ ارسال:۱۳۹۸/۱۰/۰۸
تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۴/۰۲

مقاله پژوهشی

چکیده

یکی از مسائل عمده در هیدرولوژی مهندسی که ضرورت آن بیش از پیش احساس می‌شود، پیش‌بینی چگونگی طغیان و فروکش کردن سیل یا صعود و نزول هیدروگراف رودخانه در نقطه مشخصی از آن است. این مساله را می‌توان با روش روندیابی سیلاب مورد تحلیل قرار داد.

روش ماسکینگام یکی از روش‌های هیدرولوژیکی است که می‌توان با استفاده از آن ضمن صرفه جویی در زمان و هزینه با کارکرد ساده و دقت مناسب روندیابی سیلاب را انجام داد. کاربست روش‌های فراکاوشی نتایج رضایت بخشی را در این زمینه تاکنون نشان داده است. از این رو در این پژوهش، به ارزیابی کارایی الگوریتم شاهین هریس (HHO) در تخمین پارامترهای بهینه مدل غیرخطی ماسکینگام پرداخته شد.

در این مقاله ابتدا مدل غیرخطی توسعه یافته نوع پنجم ماسکینگام (NL5) جهت ارزیابی الگوریتم جدید بهینه شاهین هریس(HHO) در روندیابی رودخانه ویلسون (به عنوان پژوهش کاربردی) و رودخانه کارون (مطالعه موردی) مورد استفاده و به منظور بررسی میزان مطلوبیت یافته‌های پژوهش، با نتایج دو الگوریتم ژنتیک (GA) و جستجوی هارمونی (HS) مقایسه گردید. نتایج الگوریتم HHO برای دو رودخانه ویلسون و کارون نشان دهنده کمینه‌سازی مجموع مربعات باقیمانده‌ها (SSQ) به عنوان تابع هدف می‌باشد که برای رودخانه ویلسون برابر با ۱۱,۶۴ و رودخانه کارون برابر با ۱۴۳۰۵۰,۰۲ است.

با توجه به نتایج، این الگوریتم عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم GA و HS داشته است، در نتیجه الگوریتم پیشنهادی می‌تواند با اطمینان خوبی به‌منظور برآورد مقادیر بهینه پارامترهای مدل ماسکینگام غیر خطی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بهینه سازی، شاهین هریس، روندیابی هیدرولوژیکی، ماسکینگام، مدل غیرخطیNL5

[۱] دانشجوی دکتری سازه آبی گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، Khalifeh.saeid@mail.um.ac.ir

[۲] *استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir (نویسنده مسئول)

۳ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، Esmaili@um.ac.ir

۴ استادیار گروه راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی سیرجان، Vahid.khalifeh@sirjantech.ac.ir

مقدمه

سیل یکی از مهمترین مخاطرات طبیعی است که در سال‌های اخیر نیز خساراتی را به مردم مناطق مختلف وارد آورده است. لذا به‌منظور جلوگیری از خسارات سیل معمولاً سازه‌هایی در مجاورت رودخانه احداث می‌شود. مهمترین مسئله برای ساخت چنین سازه‌هایی تخمین درست حجم سیلاب در هر مقطع در امتداد رودخانه و چگونگی اوج گرفتن و فروکش کردن هیدروگراف سیل در آن مقطع می‌باشد. (زینلی و همکاران، ۱۳۹۷)

روندیابی سیلاب، مجموع عملیاتی است که به وسیله آنها هیدروگراف جریان پایین دست توسط هیدروگراف جریان معلوم بالادست تعیین می‌گردد (Barati et al., 2017). بنابراین پیش‌بینی دقیق رویداد سیل یکی از موضوعات مهم در مهندسی هیدرولیک است. یکی از مسائل مهم مرتبط با پیش‌بینی سیل، روندیابی سیل است (Ehteram et al.,2018).

روندیابی سیلِ صورت گرفته، توسط روشهای ریاضی به مهندسین طراح در شناخت تاثیرات جریان در مسیر رودخانه و اطراف آن کمک می‌کند. روندیابی سیلاب در آبراهه‌ها (کانال و رودخانه) عبارت است از عملیات محاسباتی که تغییرات مقادیر متغیرهای هیدرولیکی، هندسه جریان و شکل موج سیل را به عنوان تابعی از زمان در یک یا چند نقطه در طول آبراهه‌ها پیش‌بینی می‌کند (Barati et al., 2017).

یکی از معضلات کشور در زمینه مطالعات روندیابی سیلاب، دسترسی نداشتن به آمار و اطلاعات کامل درباره رودخانه‌ها و تعداد ایستگاه‌های هیدرومتری است که استفاده از روش‌هایی که به آمار و اطلاعات دقیق نیاز دارند را با مشکل مواجه می‌سازد (ثمنی و همکاران، ۱۳۹۷).

روش‌های روندیابی سیل به دو دسته هیدرولیکی و هیدرولوژیکی تقسیم می‌شوند. روش‌های روندیابی هیدرولیکی بر مبنای حل عددی معادلات سنت ونان ومعادلات غیردایمی متغیر تدریجی در کانال‌های باز قرار دارند، درحالی که روش‌های هیدرولوژیکی بر پایه معادله پیوستگی و روابط بین دبی و ذخیره موقت حجم اضافی آب در دوره سیلاب استوار است. روش‌های هیدرولوژیکی درمقایسه با روش‌های هیدرولیکی دارای محاسبات ساده و سریعی هستند و در کاربردهای مهندسی با اطمینان قابل قبولی به کار می‌روند. پرکاربردترین و مشهورترین روش در این دسته، روش ماسکینگام است (خلیفه و همکاران، ۱۳۹۷).

روش ماسکینگام اولین بار توسط مهندسین ارتش ایالت متحده برای مطالعات کنترل سیل حوضه رودخانه ماسکینگام در اوهایو توسعه داده شد.

(Mohan, 1997) مدلی را برمبنای الگوریتم وراثتی (GA) به‌منظور تخمین پارامترهای ماسکینگام غیرخطی ارائه نمود. نتایج نشان می‌دهد هیدروگراف جریان خروجی حاصل از روش GA با هیدروگراف جریان خروجی مشاهداتی نسبت به روش‌های ارائه شده از سوی سایر محققان انطباق بالاتری دارد. (Premual and RangaRaju, 1998) بر اساس معادلات سنت ونانت روشی را برای روندیابی جریان غیرماندگار ارائه نمودند که مشابه فرمول مورد استفاده در روش ماسکینگام با پارامترهای متغیر بوده و برای روندیابی از هیدروگراف اشل استفاده می‌کند. در این روش هیدروگراف دبی نیز بطور همزمان با هیدروگراف اشل روندیابی می‌شود. نتایج از کارایی مناسب این روش-حکایت داشت. (Kim and Geem, 2001) الگوریتم HS را در بهینه‌سازی پارامترهای ماسکینگام به‌کار بردند. نتایج به دست آمده از HS تخمین بهتری نسبت به الگوریتم GA داشت. روش آن‌ها نه تنها درکمینه کردن مجموع مربعات انحرافات (SSQ) دبی روندیابی شده مشاهداتی و محاسباتی به عنوان تابع هدف موفق بوده، بلکه سایر پارامترهای در نظر گرفته شده مانند مجموع قدر مطلق انحرافات (SAD) دبی روندیابی شده مشاهداتی و محاسباتی و میزان انحراف دبی اوج مشاهداتی و محاسباتی (DPO) نیز مقادیر بهتری نسبت به سایر روش‌های پیشین داشتند.

(Chu and Chang, 2009) الگوریتم PSO را برای تخمین پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگام با هدف کمینه‌کردن SSQ، به کار بردند. نتایج این روش نشان از برتری PSO نسبت به GA و اختلاف اندک نسبت به HS داشته است. (Karahan et al, 2013)با استفاده

از ترکیب دو الگوریتم HS و BFGS به برآورد پارامترهای معادله ماسکینگام غیرخطی در روندیابی سیلاب رودخانه ویلسون و وای پرداختند. روش ترکیبی پیشنهادی در بین ۱۲ روش مختلف عملکرد بهتری داشته است. اخیراً جهت تخمین بهینه پارامترهای غیرخطی‌ماسکینگام‌خصوصاً مدل غیرخطی نوع سوم، بسیاری از الگوریتم‌های فراکاوشی پیشنهاد شده است که عبارتند از:

الگوریتم نورد، الگوریتم‌خفاش، الگوریتم ملخ و الگوریتم جستجوی موجودات همزیست.

روش استاندارد برای استفاده از مدل ماسکینگام شامل دو مرحله است: ۱- برآورد پارامترها و ۲- پیش‌بینی سیلاب. گام برآورد پارامترهای مدل ماسکینگام با استفاده از داده‌های هیدروگراف ورودی- خروجی تاریخی ثبت شده از رودخانه‌ی مورد برررسی، تعیین می‌شوند. گام پیش‌بینی سیلاب برای حل هیدروگراف‌های خروجی یک هیدروگراف ورودی با استفاده از معادلات روندیابی ماسکینگام به کار برده می‌شود. یک طرح روندیابی برای شرایطی که ارتباط ذخیره‌سازی و جریان وزنی غیرخطی است، پیشنهاد شده است. در تحقیقات انجام شده گذشته، پنج نوع مدل غیرخطی ماسکینگام گزارش شده است.

با استفاده از ترکیب پارامترهای نمایی با ورودی و خروجی‌های متغیر معادله ذخیره‌سازی در نسخه‌ی خطی مدل ماسکینگام، دو نسخه‌ی غیرخطی یک و دو متغیره از مدل ماسکینگام غیرخطی به ترتیب در مرحله‌ی اول و دوم بدست آمد. با به کارگیری پارامترهای نمایی نسخه سوم، مدل ماسکینگام غیرخطی با جریان وزنی معادله ذخیره‌سازی مرتبط گردید. با استفاده از چهارمین نسخه از مدل ماسکینگام غیرخطی ۴ معادله ذخیره‌سازی مدل یک و مدل دو متغیره با هم ترکیب شدند.

(Easa, 2013) اشاره کرد که هدف اصلاح ساختار یک مدل روندیابی سیلاب ایجاد درجات آزادی بیشتر در مدل می‌باشد. او همچنین اظهار داشت که مدل غیرخطی ۴ دارای درجات آزادی بیشتری نسبت به دیگر مدل‌های ماسکینگام غیرخطی است، از این رو، به طور کلی انطباق نزدیکتری نسبت به داده‌های خروجی اندازه‌گیری شده بدست می‌آید. (Bozorg Hadad et al, 2015) یک مدل ماسکینگام غیرخطی که ساختار مدل ذخیره‌سازی ۴ را اصلاح کرده است، را به عنوان مدل ماسکینگام غیرخطی ۵ معرفی کردند. این مدل دارای درجات آزادی بیشتری نسبت به مدل ۴ استاندارد می‌باشد و ۷ پارامتر ماسکینگام غیرخطی را ارائه می‌دهد.

برای نزدیک شدن جریان‌های اندازه‌گیری شده و روندیابی شده، مدل ماسکینگام غیرخطی به پارامترهای بیشتری نیاز دارد (Geem, 2006). مدل‌های قبل از مدل غیرخطی ۴ نهایتاً توانستند سه پارامتر را ارائه دهند و مدل غیرخطی ۴ تنها چهار پارامتر را ارائه داد. این در حالی است که مدل ۵ از مدل ماسکینگام غیرخطی هفت پارامتر ماسکینگام را ارائه می‌دهد. با توجه به اینکه برای روندیابی دقیق‌تر یک رودخانه مخصوصاً رودخانه‌های دارای دبی چند اوجه که به پارامترهای بیشتری نیازمند است، می‌توان گفت مدل ۵ بر تمام مدل‌های پیشین ماسکینگام غیرخطی ارجحیت دارد و مناسب‌تر می‌باشد.

گام برآورد پارامترها دارای بیشترین اهمیت برای به کارگیری روش ماسکینگام غیرخطی است (Chow, 1973). روش‌های مختلفی برای برآورد پارامترهای روش ماسکینگام غیرخطی توسط محققانی به کار برده شدند. گروه اول شامل روش‌های ریاضی همانند روش کمترین مربعات مقسوم، روش کوچکترین مربعات غیرخطی، روش برویدن-فلچر-گلدفرب-شانون، روش تکثیرکننده لاگرانژ و...می‌باشد. این روش‌ها بر الگوریتم‌های تحقیقی موضعی تکیه می‌کند که ممکن است در چند تکرار همگرا شود ولی در کل فاقد بهینگی جهانی است. علاوه بر این، به راه حل‌های مطلوب جهانی مبتنی بر ویژگی برآورد پارامتر اولیه مناسب دست یافته شده است. گروه دوم از روش‌های تخمین پارامتر ماسکینگام غیرخطی شامل الگوریتم پدیده-تقلید همانند الگوریتم ژنتیک (وراثتی)، جستجوی هارمونی، بهینه‌سازی گروه ذرات و ... می‌باشد. این الگوریتم‌ها به صورت تصادفی به جستجوی راه حل نزدیک به بهینه‌ی جهانی می‌پردازند.

در مجموع برای انجام روندیابی به روش ماسکینگام، ابتدا باید پارامترهای اساسی ماسکینگام را بوسیله‌ی یکی از روش‌های ذکر شده برآورد کرده و سپس جهت روندیابی سیل در روش روندیابی ماسکینگام به کار برد. در هر صورت با استفاده از هر کدام از روش‌ها بایستی به نتایج مطلوب و نزدیک به داده‌های واقعی دست یافت.

دیده می‌شود که در سالهای اخیر کاربرد روش‌های هوشمندو الگوریتم‌های فراکاوشی به منظور پیش بینی و بهینه سازی معادلات گوناگون مورد توجه محققان علوم مختلف بوده و همواره نتایج مناسبی را به همراه داشته است.

بررسی منابعی که نویسندگان این مقاله استفاده کردند نشان می‌دهد یکی از روش‌هایی که اخیراً در زمینه هوش مصنوعی مطرح شده است، روش بهینه ساز شاهین هریس است. بنابراین در پژوهش حاضر برای نخستین بار از الگوریتم بهینه ساز شاهین هریس (HHO) که بر پایه شبیه‌سازی رفتاری پرنده‌ای به نام شاهین هریس، توسط(Heidari et al, 2018) ارائه شده است، به منظور تخمین پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگام که پتانسیل خوبی در حل مسائل پیچیده مهندسی و بهینه سازی دارد، استفاده گردید.

مواد و روش‌ها

از جمله روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی مدل ماسکینگام است که اصول آن بر اصل پیوستگی جریان و معادله بین دبی و ذخیره موقت آب در طول مسیر استوار است . این مدل، روش به نسبت ساده‌ای بوده و دقت کافی در مسائل آبی دارد. این مدل به دلیل سادگی از بین انواع روش‌های هیدرولوژیک برای روندیابی سیل کاربرد وسیعی دارد (خلیفه و همکاران، ۱۳۹۹). دو معادله پیوستگی و ذخیره غیرخطی به عنوان معادلات پایه‌ای به صورت معادلات (۱) و (۲) در مدل ماسکینگام به کار رفته‌اند:

$$\frac{ds}{dt} = I_t - O_t \qquad (۱)$$

$$S_t = K[XI_t + (1-X)O_t] \qquad (۲)$$

در این معادلات S_t، I_t و O_t به ترتیب ذخیره، ورودی و خروجی در زمان t، K ضریب بدون بعد ذخیره برای رودخانه است که یک مقدار منطقی نزدیک به زمان گذر جریان از کل مسیر رودخانه می‌باشد (ثابت و بزرگتر از صفر)، X یک فاکتور وزنی که معمولاً بین صفر و ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. معمولاً چنانچه معادله ماسکینگام به صورت خطی در نظر گرفته شود، پارامترهای K و X در مدل با روش ترسیمی به کمک سعی و خطا محاسبه می‌شود (خلیفه و همکاران، ۱۳۹۹).

شکل غیرخطی مدل ماسکینگام کاربرد وسیعی در روندیابی سیلاب دارد. تحقیقات زیادی در مورد انواع غیرخطی مدل ماسکینگام صورت گرفته است. در مطالعه‌ی حاضر شکل اصلاح‌شده‌ای از این مدل توسط (Bozorg Hadad et al, 2015) پیشنهادشده است که در این مطالعه به‌عنوان مدل غیرخطی ماسکینگام نوع پنجم (NL5) نامیده می‌شود. اساس مدل ماسکینگام معادله‌ی پیوستگی است. در ادامه روند دستیابی به مدل NL5 تشریح می‌شود.

اصل روش NL5 درواقع توسط (Chow, 1973) اولین بار ارائه گردید.

$$S_{in} = b\left(\frac{I}{a_1}\right)^{\frac{m}{n_1}} \qquad (۳)$$

$$S_{out} = b\left(\frac{O}{a2}\right)^{\frac{m}{n_2}} \qquad (۴)$$

که در آن a_1 و n_1 پارامترهای مرتبط با مشخصات رابطه عمق- دبی بازه بالادست رودخانه را بیان می‌کند؛ a_2 و n_2 ویژگی‌های عمق- دبی بخش پایین‌دست را بیان می‌کند؛ با جایگذاری S_{in} و S_{out} از معادله ۳ و ۴ در معادله

$$S = [XS_{in} + (1-X)S_{out}]^{\beta}$$ وساده‌کردن نتیجه‌ی کار معادله‌ی ۵ تولید می‌گردد.

$$S = K[X(C_1 I^{\alpha_1}) + (1-X)(C_2 O^{\alpha_2})]^{\beta} \quad (NL6) \quad (۵)$$

$$K = b^{\beta}$$

$$\alpha_1 = \frac{m}{n_1}$$

$$C_1 = (\frac{1}{a_1})^{\alpha_1}$$

$$C_2 = (\frac{1}{a_2})^{\alpha_2}$$

که در آن I و O: به ترتیب دبی ورودی و دبی خروجی $(\frac{m^3}{s})$

K : ثابت ذخیره که از صفر بزرگ‌تر است.

X: ضریب وزنی بدون بعد که بیانگر اثرات نسبی دبی ورودی و خروجی بر ذخیره است. مقدار آن برای رودخانه بین صفر و ۰/۳ می‌باشد.

□ و □2، □1: پارامترهای نمایی که از صفر بزرگ‌ترند.

$C2$و $C1$: پارامترهای ثابتی هستند که از صفر بزرگ‌تر می‌باشند.

معرفی شاخص‌های ارزیابی خطای رویکرد محاسباتی

برای اینکه بتوان نتایج حاصل از دو روش را مقایسه کرد بایستی از یک سری شاخص یا تابع هدف استفاده نمود. این شاخص‌ها در ذیل آورده شده است.

✓ SSQ[1]

شاخص ارزیابی خطای SSQ برای ارزیابی مقادیر بهینه‌ی پارامترهای مدل NL5 استفاده می‌شود و به صورت زیر می‌باشد:

$$MinSSQ = \sum_{i=1}^{N} (O_i - \hat{O_i})^2 \quad (۶)$$

که در آن SSQ مجموع اختلاف مربعات دبی خروجی اندازه‌گیری شده ودبی خروجی محاسبه شده در بازه‌ی زمانی i، Oiدبی خروجی اندازه‌گیری شده در بازه‌ی زمانی i و $\hat{O}_i$ دبی خروجی محاسبه شده در بازه‌ی زمانی i می‌باشد.

✓ روش شبیه‌سازی مدل ماسکینگام غیرخطی NL5

برای شبیه‌سازی مدل NL5 از گام‌های زیر تبعیت می‌شود. جریان ورودی اندازه‌گیری شده، جریان خروجی محاسبه شده و ذخیره‌ی محاسبه شده در بازه‌ی زمانی i ام به ترتیب I_i، O_i و S_i می‌باشند که در اینجا i = 0.1.2. …. N به عنوان بازه‌های زمانی شبیه‌سازی می‌باشند. گام‌های مربوط به روش $NL5$ به صورت زیر می‌باشد:

گام۱) اطلاعات مربوط به دبی‌های ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده با بازه‌های زمانی معین برای هیدروگراف مورد نظر جمع‌آوری می‌شود.

گام۲) مقادیری برای هفت پارامتر هیدرولوژیکی K، X، $C2$ و $C1$، □، □، 2□، 1□فرض می‌شود.

گام۳) مدل بهینه‌سازی مناسب جهت بهینه نمودن پارامترهای مدل $NL5$انتخاب می‌شود.

گام۴) مقادیر هفت پارامتر با استفاده از یک روش بهینه‌سازی انتخابی بهینه می‌شوند.

گام۵) مقدار ذخیره‌ی اولیهS_0 از رابطه زیر محاسبه می‌شود. مقدار دبی خروجی محاسبه شده با مقدار دبی ورودی اندازه‌گیری شده برابر فرض می‌شود $(\hat{O}_0 = I_0)$:

$$, S_0 = K\left[X(C_1 {I_0}^{\alpha 1}) + (1-X)(C_2 {\hat{O}_0}^{\alpha 2})\right]^{\beta} \quad i=0 \quad (۸)$$

[1]. Sum of squared deviations between observed and computed outflows

گام ۶) نرخ زمانی تغییر حجم ذخیره در بازه‌ی زمانی i از رابطه زیر محاسبه می‌شود (شروع از $i = 1$):

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = I_i - \{\left[\frac{1}{C_2(1-X)}\right]\left(\frac{S_i}{K}\right)^{\frac{1}{\beta}} - \left[\frac{1}{C_2(1-X)}\right][X(C_1 I_i^{\alpha_1})]\}^{\frac{1}{\alpha_2}}$$

(۹)

لازم بذکر است که مقدار$\frac{\Delta S_i}{\Delta t}$ در $i = 0$ برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

گام۷) مقدار حجم ذخیره در زمان i از رابطه زیر محاسبه می‌شود (شروع از $i = 1$):

$$S_i = S_{i-1} + \Delta t\,(\frac{\Delta S_{i-1}}{\Delta t}) \qquad (۱۰)$$

گام۸) دبی خروجی در بازه‌ی زمانی i از رابطه زیر محاسبه می‌شود (شروع از $i = 1$):

$$\hat{O}_i = \{\left[\frac{1}{C_2(1-X)}\right]\left(\frac{S_i}{K}\right)^{\frac{1}{\beta}} - \left[\frac{1}{C_2(1-X)}\right][X(C_1 I_{i-1}^{\alpha_1})]\}^{\frac{1}{\alpha_2}}$$

(۱۱)

لازم بذکر است که مقدار$\hat{O}_0$ در $i = 0$، برابر با I_0 در نظر گرفته می‌شود.

گام ۹) شاخص i یک واحد افزایش و گام‌های ۷ تا ۹ را تا اینکه شبیه‌سازی به زمان N برسد، تکرار می‌شود.

گام ۱۰) شاخص‌های SSQ محاسبه و ثبت می‌شود.

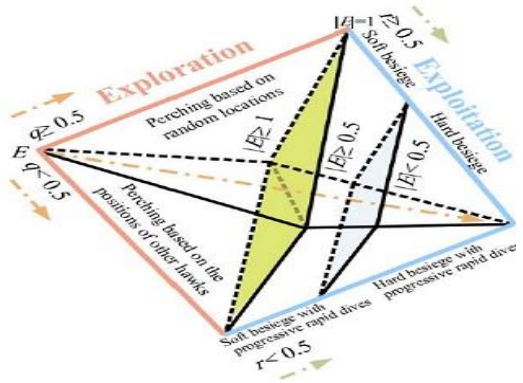
گام ۱۱) اگر شاخص‌های SSQ رضایت‌بخش باشند روند شبیه‌سازی خاتمه می‌یابد، در غیر این صورت پارامترهای اخیر مدل NL5 به عنوان حدس اولیه‌ی تلاش بعدی استفاده شده و مراحل از گام ۴ تا گام ۱۱ تکرار می‌شود.

برای بررسی عملکرد الگوریتم توسعه داده شده نتایج حاصل از اجرای آن با روش‌های فراابتکاری دیگر مانند الگوریتم وراثتی (GA)، الگوریتم جستجوی هارمونی (HS)، مورد مقایسه قرار گرفته است. کدنویسی الگوریتم‌های HHO، GA، HS در قسمت برنامه‌نویسی نرم‌افزار MATLAB (R2018a) انجام شد.

الگوریتم شاهین هریس (HHO)

الگوریتم‌های فراابتکاری جدید تقلیدی از پدیده‌های طبیعی هستند. الگوریتم بهینه‌سازی شاهین هریس (HHO) اولین بار توسط (Heidari et al, 2018) مطرح شد. این الگوریتم از سبک تعقیب و مشارکتی شاهین هریس الهام گرفته است. بعضی از شاهین‌ها قصد دارند که طعمه را از راه‌های مختلف غافلگیر کنند. الگوی تعقیب این شاهین‌ها براساس الگوی پرواز بر روی طعمه می‌باشد. الگوریتم شاهین با مجموعه‌ای ازراه‌حل‌های تصادفی شروع به‌کار می‌کند. همچنین این الگوریتم جستجوی مبتنی بر جمعیت است که با سه فاز اصلی بکارگیری می‌شود. در هر تکرار، عوامل جستجو موقعیت خود را با استفاده از سه عملگر جستجو برای طعمه (فاز اکتشاف) ، انتقال از اکتشاف به بهره برداری (فاز استخراج) و بهره برداری به روزرسانی می‌کنند.

مراحل اصلی الگوریتم HHO که به شرح زیر توضیح داده می‌شوند (شکل۱):



شکل (۱): مراحل مختلف بهینه سازی شاهین هریس (Heidari et al, 2018)

فاز اکتشاف

در این فاز، تعیین دقیق انتظار، جستجو و کشف شکار مورد نظر تعیین می‌شود که به صورت زیر بیان می‌شود.

$$X(iter+1) = \begin{cases} X_{rand}(iter) - r_1 \left| X_{rand}(iter) - 2X_r(iter) \right| .....if ...q \geq 0.5 \\ X_{rabit}(iter) - X_m(iter)) - r_3(LB + r_4(UB - LB)) .. if ...q < 0.5 \end{cases}$$

(۱۲)

که در این فرمول Xrabit موقعیت طعمه (خرگوش)، iter بیانگر تکرارها بصورت تصادفی، Xrand انتخاب تصادفی از بین جمعیت شاهین‌های موجود، q اعداد تصادفی در محدوده [۰,۱]، Xm موقعیت میانگین شاهین‌ها را نشان می‌دهد و بصورت زیر محاسبه می‌شود.

$$X_m(iter)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}X_i(iter), \qquad (۱۳)$$

که در آن Xi مکان شاهین و N تعداد آن‌ها را نشان می‌دهد.

فاز استخراج

با در نظر گرفتن T به عنوان حداکثر اندازه در مورد تکرارها $E_0=\varepsilon(-1,1)$ به عنوان انرژی اولیه در هر مرحله،HHO انرژی فرار خرگوش (E) را با معادله ۱۸ محاسبه می‌کند. با توجه به این موضوع ارزش، اکتشاف و بهره‌برداری ممکن است تغییر کند.

$$E=2E_0(1-\frac{iter}{T}) \qquad (۱۴)$$

در این حالت اگر |E| ≥۱' باشد فاز اکتشاف آغاز می‌شود؛ در غیر این صورت، جواب‌های محلی هدف مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد

.

فاز بهره برداری

بسته به انرژی باقیمانده طعمه، شاهین ممکن است یک محاصره نرم یا سخت را برای شکار از جهات مختلف در نظر بگیرد. پارامتر به اصطلاح r جهت اندازه گیری شانس فرار طعمه تعریف می‌شود.

براین اساس$r < 0.5$ نشاندهنده فرار موفق آمیز است. به عبارتی وقتی$|E| \geq 0.5$ محاصره نرم و وقتی$|E| < 0.5$ محاصره سخت شاهین‌ها را داریم.

شایان ذکر است که حتی اگر طعمه بتواند فرار کند یعنی (i.e.' $|E| \geq 0.5$) موفقیت آن نیز به r بستگی دارد.

روند حمله از طریق فرار و پیگیری استراتژی شکار شاهین‌ها تأثیر می‌پذیرد.

داده‌های مورد استفاده

برای ارزیابی الگوریتم‌های مورد بررسی در این پژوهش داده‌های رودخانه ویلسون (به عنوان مثال استاندارد) و رودخانه‌کارون(به عنوان مطالعه موردی واقعی) استفاده شده است.

نتایج و بحث

رودخانه ویلسون

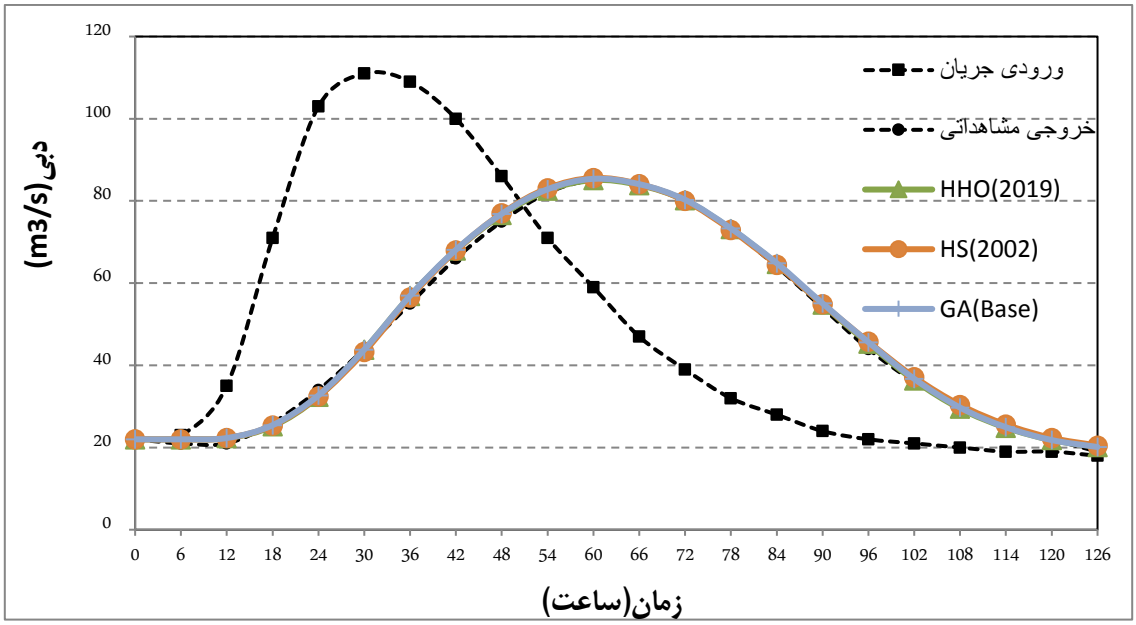
مثال مورد مطالعه در این پژوهش برای اولین بار توسط ویلسون (۱۹۷۴) ارائه شده است. در این مثال رابطه غیرخطی بین مقادیر S_t و $[XI_t+(1-X)O_t]$ برقرار می‌باشد و می‌توان عمکرد الگوریتم‌های مختلف را در بدست آوردن مقادیر بهینه پارامترهای معادله ماسکینگام غیرخطی مورد بررسی قرار داد. بیشترین جریان ورودی و خروجی از این رودخانه به ترتیب ۱۱۱ و ۸۵ متر مکعب بر ثانیه بوده است[۱۱]. در جدول ۱ مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های فراکاوشی استفاده شده جهت حل مسئله روندیابی سیل نمایش داده شده است. در جدول ۲ مقدار تابع هدف و میانگین زمان اجرای پردازش به دست آمده با الگوریتم‌های فرا اکتشافی در رودخانه ویلسون آمده است. طبق تجزیه و تحلیل بهترین تابع هدف SSQ مربوط به الگوریتم HHO با مقدار ۱۱,۶۴و بعد از آن به ترتیب الگوریتم GA با مقدار۲۲,۴۱ و الگوریتم HS با مقدار۳۲,۴۴ می باشد. شکل ۳ هیدروگراف‌های سیل را در لحظه‌های ورود و خروج در رودخانه ویلسون را نشان می‌دهد، که درآن هیدروگراف‌های خروجی مشاهده شده و محاسباتی از الگوریتم‌های فرا اکتشافی در شکل نشان داده شده است. در آخر نتایج تحقیق با سایر نتایج پژوهشگران در جدول ۳ مقایسه و برتری روش مذکور مشخص گردید.

جدول (۱): مقادیر پارامترهای الگوریتم‌های فراکاوشی

HHO (2019)	**مقدار پارامتر**	**حداکثر تکرار**	**Dim**	**عوامل جستجو**	**-**	–
		۱۰۰۰	۷	۱۰۰	-	–
GA (Base)	مقدار پارامتر	حداکثر تکرار	تعداد متغیر تصمیم	عوامل جستجو	نرخ جهش	نرخ نزویج
		۱۰۰۰	۷	۱۰۰	۰,۰۲	۰,۶
HS (2002)	مقدار پارامتر	حداکثر تکرار	تعداد متغیر تصمیم	اندازه جمعیت	HMCR	PAR
		۱۰۰۰	۷	۱۰۰	۰,۲	۰,۲

جدول(۲): تجزیه و تحلیل عملکرد تابع هدف با الگوریتم‌های فرا اکتشافی برای رودخانه ویلسون

تعداد پردازش	**HHO(2019)**		**HS(2002)**		**GA(Base)**	
	تابع هدف	**زمان پردازش (ثانیه)**	**تابع هدف**	**زمان پردازش (ثانیه)**	**تابع هدف**	**زمان پردازش (ثانیه)**
۱	۶۳,۶۷	۲۸,۹۰	۳۲,۴۴	۵,۴۸	۴۷,۵۰	۸,۷۸
۲	۱۵۲,۴۹	۲۸,۰۳	۶۶,۰۹	۵,۴۴	۴۸,۹۷	۸,۲۵
۳	۱۱,۶۴	۲۷,۱۶	۱۰۰,۷۷	۵,۵۶	۵۳,۶۴	۹,۲۱
۴	۱۸۰,۲	۲۸,۰۷	۶۵,۱۶	۵,۴۸	۶۷,۷۱	۷,۸۸
۵	۱۰۳,۲۴	۲۸,۴۴	۶۱,۱۷	۵,۵۰	۵۶,۸۵	۱۰,۵۲
۶	۱۱۰,۰۲	۲۸,۶۶	۶۹,۴۶	۵,۵۴	۸۷,۹۰	۸,۱۵
۷	۴۰,۹۸	۲۷,۷۶	۵۸,۲۸	۵,۵۸	۳۹,۳۶	۱۵,۰۱
۸	۷۰,۲۱	۲۷,۵۰	۶۱,۹۰	۵,۳۹	۱۲۳,۸۳	۹,۱۴
۹	۸۱۶۸	۲۷,۹۷	۴۱,۱۴	۵,۴۶	۵۲,۱۴	۸,۳۱
۱۰	۱۰۰	۳۰,۲۶	۷۴,۷۶	۵,۵۰	۲۲,۴۱	۷,۵۶
بهترین	۱۱,۶۴		۳۲,۴۴		۲۲,۴۱	
بدترین	۱۸۰,۲		۱۰۰,۷۷		۱۲۳,۸۳	
میانگین	۹۲		۶۳		۶۰	
بهترین زمان پردازش	۲۷,۱۶		۵,۳۹		۷,۵۶	



شکل(۳): هیدروگراف خروجی روندیابی شده توسط الگوریتم‌های مورد بررسی برای رودخانه ویلسون (مدل NL5)

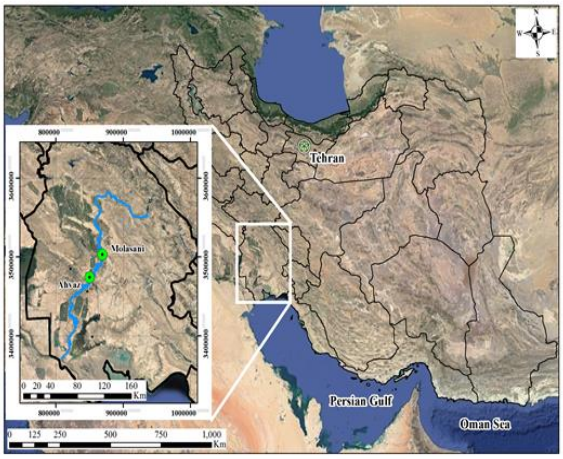
جدول (۳): نتایج حاصل از اجرای الگوریتم HHO و مطالعات گذشته در سیلاب ویلسون

ردیف	محقق	سال تحقیق	روش	SSQ
۱	Mohan	۱۹۹۷	GA	۳۸,۲۳
۲	Kim et al.	۲۰۰۱	HS	۳۶,۲۹
۳	Xu et al.	۲۰۱۱	DE	۳۶,۷۷
۴	Vafakhah et al.	۲۰۱۵	ABC	۳۵,۶۲
۵	Khalifeh et al.	۲۰۱۹	GOA	۳۵,۵۵
۶	Khalifeh et al.	_	HHO	۱۱,۶۴

رودخانه کارون

در این پژوهش برای بررسی عملکرد الگوریتم‌های مورد مطالعه در برآورد پارامترهای معادله ماسکینگام غیرخطی در مدل روندیابی سیلاب، رودخانه کارون به عنوان یک مثال واقعی مورد استفاده قرار گرفته است.

در این مطالعه ، رودخانه کارون از دو ایستگاه ملاثانی و اهواز با اطلاعات سیل به مدت ۴ روز از ۳۰ نوامبر ۲۰۰۸ تا ۳ دسامبر ۲۰۰۸ برای این منظور در نظر گرفته شده است (شکل ۲).



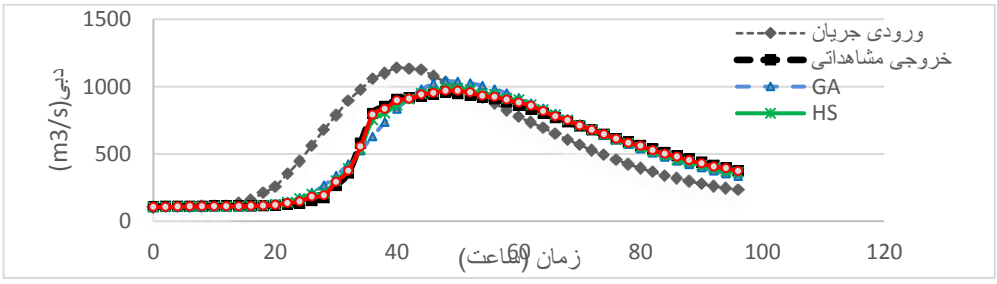
شکل(۲): منطقه مورد مطالعه رودخانه کارون

با توجه به تجزیه و تحلیل روندیابی سیلاب، شکل ۴، هیدروگراف‌های سیل را در لحظه‌های ورود و خروج در رودخانه کارون را نشان می‌دهد، که درآن هیدروگراف‌های خروجی مشاهده شده و محاسباتی از الگوریتم‌های فرا اکتشافی درشکل نشان داده شده است.

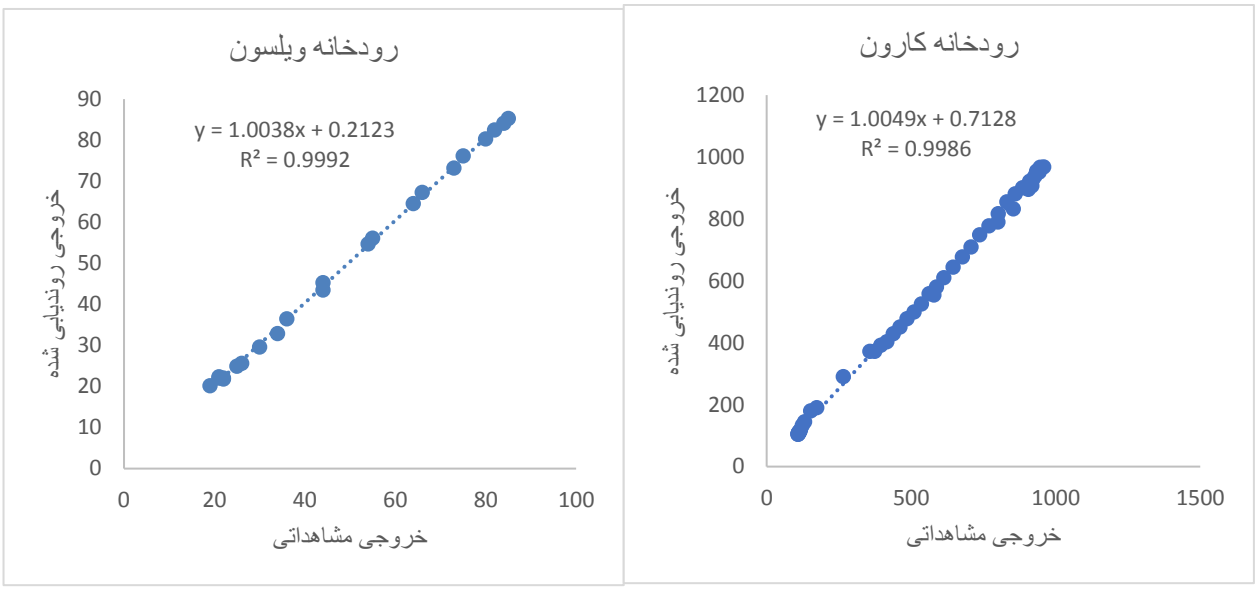
در جدول ۴ مقدار تابع هدف و میانگین زمان اجرای پردازش بدست آمده توسط الگوریتم‌های فرا اکتشافی برای مسئله رودخانه کارون آمده است. طبق تجزیه و تحلیل بهترین تابع هدف SSQ مربوط به الگوریتم HHO و بعد از آن به ترتیب الگوریتم GA و الگوریتم HS می‌باشد. در آخر شکل ۵ پراکندگی داده‌های خروجی مشاهده شده و خروجی شبیه سازی شده در رودخانه ویلسون و رودخانه کارون را نشان می‌دهد

جدول(۴): تجزیه و تحلیل عملکرد تابع هدف با الگوریتم‌های فرا اکتشافی برای رودخانه کارون

تعداد پردازش	HHO(2019)		HS(2002)		GA(Base)	
	تابع هدف	زمان پردازش (ثانیه)	تابع هدف	زمان پردازش (ثانیه)	تابع هدف	زمان پردازش (ثانیه)
۱	۱۴۳۰۵۲,۰۲	۴,۱۷	۱۴۳۰۵۲,۴۵	۶,۷۶	۱۴۳۲۵۲,۳۵	۱۱,۲۱
۲	۱۴۵۳۶۴,۱۴	۳,۹۸	۱۵۳۲۹۹,۲۷	۶,۷۵	۱۴۳۲۹۹,۲۳	۱۱,۵۶
۳	۱۵۹۸۴۲,۰۱	۳,۸۴	۱۶۲۶۱۵,۵۲	۶,۷۱	۱۸۲۶۱۵,۳۶	۱۵,۴۷
۴	۱۹۳۲۸۷,۳۴	۳,۷۵	۱۴۵۰۶۲,۲۵	۶,۶۲	۱۴۴۹۶۲,۴۵	۱۱,۵۷
۵	۱۴۹۸۲۶,۷۹	۳,۶۵	۱۵۴۵۳۴,۱۲	۶,۶۱	۱۶۴۵۳۴,۱۲	۱۱,۵۹
۶	۱۸۴۷۹۲,۴۵	۳,۷۷	۱۷۳۷۶۴,۱۹	۶,۷۵	۱۴۳۷۶۴,۱۸	۱۲,۲۸
۷	۱۴۴۵۶۱,۳۳	۳,۸۲	۱۷۳۲۴۰,۳۶	۶,۷۳	۱۶۳۲۴۰,۵۶	۱۱,۵۹
۸	۱۶۱۲۶۸,۷۱	۴,۰۵	۲۰۳۴۲۰,۶۱	۶,۸۰	۱۴۳۴۰۰,۶۲	۱۱,۴۲
۹	۱۵۱۲۶۹,۳۰	۴,۰۲	۱۸۶۴۰۶,۴۴	۶,۶۹	۲۸۶۵۰۶,۸۴	۱۴,۴۹
۱۰	۱۴۹۸۷۹,۹۱	۳,۹۹	۱۵۷۵۹۷,۳۷	۶,۷۰	۱۴۷۶۱۷,۳۶	۱۱,۳۵
بهترین	۱۴۳۰۵۲,۰۲		۱۴۳۰۵۲,۴۵		۱۴۳۲۵۲,۳۵	
بدترین	۱۹۳۲۸۷,۳۴		۲۰۳۴۲۰,۶۱		۲۸۶۵۰۶۸۴	
بهترین زمان پردازش	۳,۶۵		۶,۶۱		۱۱,۲۱	



شکل(۴): نمودارهای هیدروگرافی سیلاب رودخانه کارون، شامل هیدروگرافهای ورودی، هیدروگرافهای خروجی مشاهده‌ای، و هیدروگراف‌های خروجی روندیابی شده توسط الگوریتم‌های فرا اکتشافی



شکل(۵): پراکندگی داده‌های مشاهده شده و محاسبه شده در رودخانه ویلسون و رودخانه کارون

نتیجه‌گیری

برآورد پارامترهای مدل ماسکینگام غیرخطی با استفاده از روش سعی و خطا کاری دشوار و با محاسبات طولانی همراه است. در سالهای اخیر از روشهای گوناگونی برای تخمین این پارامترها استفاده شده است. روش‌های فراکاوشی از راه حل‌هایی بوده‌اند که توانسته‌اند در تخمین این پارامترها موفق عمل کنند. در مطالعه حاضر الگوریتم نوین شاهین هریس (HHO) درتخمین پارامترهای مدل ماسکینگام غیرخطی به کار گرفته شد. از سری داده‌های مشاهداتی دو مطالعه موردی شامل رودخانه ویلسون و رودخانه کارون استفاده شد.

نتایج ارزیابی عملکرد الگوریتم HHO با تحقیقات گذشته مربوط به سیلاب ویلسون نشان داد این الگوریتم کارایی مناسبی داشته و همچنین در مورد سیلاب رودخانه کارون کارایی خود را نشان داده است.

برای بررسی عملکرد HHO، نتایج حاصل از اجرای آن با الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی هارمونی مورد مقایسه قرار گرفته است. در این پژوهش به منظور برآورد مقادیر بهینه پارامترهای مدل ماسکینگام غیرخطی در روندیابی سیلاب ابتدا مثال آزمایشی که به عنوان مورد مطالعاتی توسط پژوهشگران استفاده شده، حل شد. نتایج حاکی از بالا بودن دقت تخمین برآورد پارامترهای غیرخطی مدل با الگوریتم HHO بوده است.

در روندیابی سیل ویلسون بهترین مقدار برای تابع هدف SSQ در اجرای الگوریتم HHO برابر ۱۱,۶۴ و برای الگوریتم های GA و HS به ترتیب برابر مقدار ۲۲,۴۱ و ۳۲,۴۴ بوده است و در روندیابی سیلاب رودخانه کارون بهترین مقدار تابع هدف SSQ در اجرای الگوریتم HHO برابر ۱۴۳۰۵۰,۰۲ و برای الگوریتم های GA و HS به ترتیب برابر مقدار ۱۴۳۲۵۲,۳۵و ۱۴۳۰۵۲,۴۵ بوده است.

درنهایت، با توجه به پراکندگی داده‌های محاسباتی با الگوریتم مورد استفاده در هر دو مورد مطالعاتی ویلسون و کارون مشاهده شد که رگرسیون ۰,۹۹ قابلیت الگوریتم را در زمینه بهینه سازی پارامترهای مدل ماسکینگام نشان می‌دهد. از این رو استفاده از الگوریتم شاهین هریس جهت استفاده در زمینه روندیابی جریان با مدل ماسکینگام توصیه می‌شود.

منابع

خلیفه، س.، ع. اسماعیلی، ک. اسماعیلی و س. خداشناس. ۱۳۹۹. کاربست مقایسه ای الگوریتم جستجوی موجودات همزیست با الگوریتم های فراکاوشی در مدل روندیابی سیلاب. نشریه آب و خاک فردوسی مشهد، جلد ۳۴، شماره ۲.

زینلی، م.، و م. پوررضا. ۱۳۸۸. تخمین پارامترهای بهینه مدل روندیابی غیرخطی ماسکینگام با استفاده از الگوریتم مورچگان پیوسته. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، سال هشتم، شماره ۳۱، ص ۱۰۶-۹۴.

محمدی قلعه نی، م.، و ا. بزرگ حداد. ۱۳۸۹. بهینه سازی پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگام با استفاده از الگوریتم بهینه سازی نورد شبیه‌سازی شده. نشریه آب و خاک فردوسی مشهد، سال ۱۳۸۹، شماره ۵، ص ۹۱۹-۹۰۸.

Barati R, Badfar M, Azizyan G, Akbari GH. 2017. Discussion of parameter estimation of extended nonlinear Muskingum models with the weed optimization algorithm" by Farzan Hamedi,

Bozorg Haddad O, Hamedi F, Orouji H, Pazoki M, Loáiciga HA. 2015. A re-parameterized and improved nonlinear muskingum model for flood routing. Water Resources Management 29(9):3419-3440.

Cheng, M. Y. and Prayogo, D. 2014. Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm. J. Comput. Struct. 139, 98-112.

Chow, V. T. 1973. Open Channel Hydraulic. 3rd Ed. McGraw Hill Book Company. New York. Inc.

Easa SM. 2013. New and improved four parameter nonlinear Muskingum model. Proceeding of the Institution of Civil Engineering-Water Management. 167(5):288–298

Ehteram, M.; Binti Othman, F.; Mundher Yaseen, Z.; Abdulmohsin Afan, H.; Falah Allawi, M.; Bt. Abdul Malek, M.; Najah Ahmed, A.; Shahid, S.; P. Singh, V.; El-Shafie, A. Improving the Muskingum Flood Routing Method Using a Hybrid of Particle Swarm Optimization and Bat Algorithm. Water 2018, 10, 807.

Gavilan G, Houck MH. 1985. Optimal Muskingum River routing. Proceedings of ASCE WRPMD Specialty Conference on Computer Applications in Water Resources, 10-12 June, New York, Reston, VA, USA, 1294–1302.

Geem, Z. W. 2006. Parameter estimation for the nonlinear Muskingum model using the BFGS technigue. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 5: 474-478.

Gill, M. A. 1978. Flood routing by Muskingum method. Journal of Hydrology, 36: 353-363.

Karahan, H., G. Gurarslan., A.M. ASCE and Z.W. Geem. 2013. Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Flood-Routing Model Using a Hybrid Harmony Search Algorithm. Journal of Hydrologic Engineering, 18: 352–360.

Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. 2019. Harris hawks optimization: Algorithm and applications. Future generation computer systems, 97, 849-872.

Kim J. H., Z. W. Geem and E. S. Kim. 2001. Parameter estimation of the nonlinear Muskingum model using harmony search. Journal of the American Water Resources Association, 37:1131-1138.

Khalifeh, S., Esmaili, K., Khodashenas, S., and Akbarifard, S. 2020. Data on Optimization of the Non-linear Muskingum Flood Routing in Kardeh River Using GOA Algorithm. Journal of Data in Brief, Volume 30, https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105398.

McCarthy, G. T. 1938. The unit hydrograph and flood routing. Proc. Conf. of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Mohan, S. 1997. Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using genetic algorithm. J. Hydraulic. Eng, 123: 137–142.

Premual, M. and K.G. RangaRaju. 1998. Variable – parameter stage – hydrograph routing method: I Theory. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 3: 109-114.

Wilson, E. M. 1974. Engineering hydrology, MacMillan Education, Hampshire, United Kingdom.

Estimation of the type 5 Muskingum nonlinear model parameters in the flood routing with The Harris Hawks Optimization Algorithm (HHO)

Saeid Khalifeh[1], Saeed Reza Khodashenas[2], Kazem Esmaili[3], Vahid Khalifeh[4]

Abstract

One of the major issues in the hydrology is the prediction of flooding and subsidence, or the rise and fall of river hydrographs at a certain point. This can be analyzed by flood routing. The Muskingum method is one of the hydrological methods that can be used to save time and money with simple operation and proper accuracy of flood routing. The use of meta-heuristic methods has shown satisfactory results so far. Therefore, in this study, the performance of Harris hawks optimization (HHO) algorithm in estimating the optimal parameters of the non-linear Muskingum model has been evaluated. In this paper, the fifth type of Muskingum nonlinear model (NL5) was first used to evaluate the HHO algorithm in the Wilson River (Applied Research) and the Karun River (Case Study). In order to evaluate the desirability of the research findings, the results were compared to the results of the genetic algorithms (GA) and harmonic search (HS).

The results of the HHO algorithm for both the Wilson and Karun rivers indicate the minimization of the sum of squares (SSQ) as the objective function, which is 11.64 for the Wilson River and 143050.02 for the Karun River.

Based on the results, the HHO has better performance than the GA and HS algorithms, so the proposed algorithm can be used with good confidence to estimate the optimal values of nonlinear Muskingum model parameters.

Keywords: Optimization, HHO, Hydrologic routing, Muskingum, NonLinear type 5 model

[1] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran

[2] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran (Corresponding Author: Khodashenas@Ferdowsi.um.ac.ir)

[3] Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Ferdowsi, Mashhad, Iran

[4] Department of Civil Engineering, Faculty of Civil, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran

Estimation of the type 5 Muskingum nonlinear model parameters in the flood routing with The Harris Hawks Optimization Algorithm (HHO)

Saeid Khalifeh[1], Saeed Reza Khodashenas[2*] ,Kazem Esmaili[3], Vahid Khalifeh[4]

Introduction

One of the major issues in the hydrology is the prediction of flooding and subsidence, or the rise and fall of river hydrographs at a certain point. This can be analyzed by flood routing. The Muskingum method is one of the hydrological methods that can be used to save time and money with simple operation and proper accuracy of flood routing. The use of meta-heuristic methods has shown satisfactory results so far. Therefore, in this study, the performance of Harris hawks optimization (HHO) algorithm in estimating the optimal parameters of the non-linear Muskingum model has been evaluated. In this paper, the fifth type of Muskingum nonlinear model (NL5) was first used to evaluate the HHO algorithm in the Wilson River (Applied Research) and the Karun River (Case Study).

Methodology

This paper has evaluated the performance of The Harris Hawks Optimization Algorithm (HHO) in estimating the optimum parameters of the Muskingum Non-linear 5 model. To investigate the research's findings desirability, the coclusion of the Harris Hawk optimization (HHO) have been compared to the results of other.

Meta-Heuristic methods including the Genetic Algorithm (GA) and the Harmony Search (HS) Algorithm. Meta-heuristics sample a set of solutions which are too large to be completely sampled. Meta-heuristics may make few assumptions about the optimization problem being solved, and so they may be usable for a variety of problems. HHO algorithm simulates interactions between two species in a way that one species seeks to find the most suitable. HHO algorithm starts with an initial population called Ecosystem. In the early Ecosystem, a group of organisms (decision variable) are randomly generated in the search space. Each organism as a candidate is a candidate for a solution that corresponds to a certain degree of fit, representing the degree of conformity with the intended purpose (amount of objective function). This algorithm uses a new solution by mimicking the biological interaction between the two species in the Ecosystem. Three distinct phases (cross-use), Commensalism, and parasitic, similar to the biological interaction model in the real world, are introduced. Each interaction is defined based on the type of Interaction. In this way, the two-way profit represents the cooperation phase, the one-way profit represents the Commensalism phase, and the one-way profit and the other side losses represent the parasitic phase. In all phases, each being interacted randomly with the other. This process continues until the process is completed (reaching the maximum number of iterations). In this paper, the fifth type of Muskingum nonlinear model (NL5) was first used to evaluate the HHO algorithm in the Wilson River (Applied Research) and the Karun River (Case Study). In order to evaluate the desirability of the research findings, the results were compared to the results of the genetic algorithms (GA) and harmonic search (HS).

In this paper, minimizing the sum of squares (SSQ) between the volume of real and routed outputs has been considered as an objective function to evaluate the optimum parameters in the non-linear 5 Muskingum equation. The obtained optimum parameters from algorithms for both rivers show that the

[1] Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[2] Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (Corresponding Author: khodashenas@erdowsi.um.ac.ir)

[3] Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

[4] Department of Civil Engineering, Faculty of Civil, Sirjan University of Technology, Sirjan, Iran

HHO, GA, and HS algorithms could approximate the SSQ to optimal value and all meta-heuristic algorithms could route the output flood as well.

Discussion and Conclusion

The results of the HHO algorithm for both the Wilson and Karun rivers indicate the minimization of the sum of squares (SSQ) as the objective function, which is 11.64 for the Wilson River and 143050.02 for the Karun River.

Based on the results, the HHO has better performance than the GA and HS algorithms, so the proposed algorithm can be used with good confidence to estimate the optimal values of nonlinear Muskingum model parameters.

The most important references

Barati R, Badfar M, Azizyan G, Akbari GH. 2017. Discussion of parameter estimation of extended nonlinear Muskingum models with the weed optimization algorithm" by Farzan Hamedi,

Bozorg Haddad O, Hamedi F, Orouji H, Pazoki M, Loáiciga HA. 2015. A re-parameterized and improved nonlinear muskingum model for flood routing. Water Resources Management 29(9):3419-3440.

Cheng, M. Y. and Prayogo, D. 2014. Symbiotic Organisms Search: A new metaheuristic optimization algorithm. J. Comput. Struct. 139, 98-112.

Chow, V. T. 1973. Open Channel Hydraulic. 3rd Ed. McGraw Hill Book Company. New York. Inc.

Easa SM. 2013. New and improved four parameter nonlinear Muskingum model. Proceeding of the Institution of Civil Engineering-Water Management. 167(5):288–298

Gavilan G, Houck MH. 1985. Optimal Muskingum River routing. Proceedings of ASCE WRPMD Specialty Conference on Computer Applications in Water Resources, 10-12 June, New York, Reston, VA, USA, 1294–1302.

Geem, Z. W. 2006. Parameter estimation for the nonlinear Muskingum model using the BFGS technigue. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 5: 474-478.

Gill, M. A. 1978. Flood routing by Muskingum method. Journal of Hydrology, 36: 353-363.

Karahan, H., G. Gurarslan., A.M. ASCE and Z.W. Geem. 2013. Parameter Estimation of the Nonlinear Muskingum Flood-Routing Model Using a Hybrid Harmony Search Algorithm. Journal of Hydrologic Engineering, 18: 352–360.

Heidari, A. A., Mirjalili, S., Faris, H., Aljarah, I., Mafarja, M., & Chen, H. 2019. Harris hawks optimization: Algorithm and applications. Future generation computer systems, 97, 849-872.

Kim J. H., Z. W. Geem and E. S. Kim. 2001. Parameter estimation of the nonlinear Muskingum model using harmony search. Journal of the American Water Resources Association, 37:1131-1138.

Khalifeh, S., Esmaili, K., Khodashenas, S., and Akbarifard, S. 2020. Data on Optimization of the Non-linear Muskingum Flood Routing in Kardeh River Using GOA Algorithm. Journal of Data in Brief, Volume 30, https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105398.

McCarthy, G. T. 1938. The unit hydrograph and flood routing. Proc. Conf. of North Atlantic Division, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC.

Mohan, S. 1997. Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using genetic algorithm. J. Hydraulic. Eng, 123: 137–142.

Premual, M. and K.G. RangaRaju. 1998. Variable – parameter stage – hydrograph routing method: I Theory. Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 3: 109-114.

Wilson, E. M. 1974. Engineering hydrology, MacMillan Education, Hampshire, United Kingdom.