دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

"مقاله پژوهشی"

حالت‌های مختلف بهینه‌یابی پارامترهای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) برای روندیابی سیل در رودخانه کارون

هادی نوروزی[۱]، وحید کریمی[۲]، جلال بازرگان[۳] و حیدر همتی[۴]

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان
(نویسنده مسوول: hadinorouzi72@gmail.com)
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان
۳- دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه زنجان
۴- دکتری سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تهران
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴
صفحه: ۲۸۵ تا ۲۹۵

چکیده

بهینه‌یابی پارامترهای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در افزایش دقت برآورد هیدروگراف خروجی سیل و هم‌چنین محاسبه ناحیه اوج هیدروگراف سیل در کارهای مهندسی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. در پژوهش حاضر، از آنجاییکه دامنه تغییرات دبی ورودی سیل سوم (سیل محاسباتی) در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مبنا) قرار دارد، به‌همین دلیل جهت افزایش دقت روندیابی سیل با استفاده از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی (روش ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و آت – کین اصلاح شده)، به‌جای استفاده از پارامترهای (X, K, Δt) یک سیل مبنا، از میانگین حسابی و هندسی پارامترهای دو سیل مبنا به‌صورت ۸ حالت مختلف و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) پرداخته شده‌است. به عبارت دیگر، استفاده از هر ۸ حالت ارائه شده در پژوهش حاضر، باعث افزایش دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد ناحیه اوج هیدروگراف سیل در حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی (بالادست) و اهواز (پایین‌دست) رودخانه کارون، شده است. به‌طوریکه، در بهترین حالت ارائه شده در پژوهش حاضر (حالت ۸)، میانگین خطای نسبی ناحیه اوج سیل محاسباتی نسبت به شرایطی که از سیل مبنای اول به‌تنهایی استفاده شود، برای روش‌های مذکور به‌ترتیب ٦٦، ٦٦، ۲۵ و ۱۸ درصد و در شرایطی که از سیل مبنای دوم به‌تنهایی استفاده شود، به‌ترتیب ٤۳، ٤۳، ٤ و ۹ درصد بهبود یافته‌است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، روندیابی سیل، روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی، حالت‌های مختلف بهینه‌یابی پارامترهای X, K, Δt

مقدمه

سیل یکی از بلایای طبیعی است و جلوگیری از آسیب‌های اقتصادی، اجتماعی و سایر موارد ناشی از سیلاب، نگرانی انسان‌ها را به‌دنبال داشته‌است (۳۰). تجزیه و تحلیل سیل و کنترل آن در حوزه‌های آبخیزداری که در اثر سیل تهدید شده‌اند، برای زندگی انسان‌ها حائز اهمیت است (۲۷). محاسبه هیدروگراف سیلاب در پایین‌دست را در حقیقت روندیابی سیلاب می‌گویند. روندیابی سیلاب به‌عنوان یک مسئله مهم در تحلیل تأثیر سازه‌ها در کنترل سیل به‌حساب می‌آید (۵). به‌ویژه، محاسبه اوج سیل از اهمیت زیادی در ساخت سازه‌های کنترل سیل و کاهش خطرات طبیعی و هزینه‌های اقتصادی و اجتماعی برخوردار است (۲۶،۱۷،۸). برآورد هیدروگراف سیل در پایین‌دست را روندیابی سیل می‌نامند که به دو بخش روندیابی هیدرولیکی و روندیابی هیدرولوژیکی تقسیم می‌شوند (۳۲،۱۵). استفاده از روش‌های روندیابی هیدرولیکی به‌دلیل نیاز به داده‌های بیشتر و محاسبات طولانی‌تر، دشوار است. در حالیکه روندیابی سیلاب با استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی به داده‌های بسیار کمتری نیاز داشته و آسان‌تر می‌باشد (۳۲). تسای (۲۹) با بررسی روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی در روندیابی سیل، به این نتیجه رسید که: روندیابی هیدرولیکی نسبت به روندیابی هیدرولوژیکی دقیق‌تر است ولی مشکل اصلی آن دشواری و پیچیدگی حل معادلات مربوطه می‌باشد. به‌دلیل کم بودن زمان محاسبات، الگوریتم‌ها توانایی بالایی در بهینه‌یابی متغیرهای روش ماسکینگام دارند. افزایش تعداد پارامترهای روش ماسکینگام، زمان محاسبات الگوریتم‌ها را افزایش داده، در حالیکه دقت محاسبات، به‌طور قابل توجهی تغییر نمی‌کند (۱۴). الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) یک الگوریتم تکاملی مبتنی بر جمعیت است و در حال حاضر در مسائل بهینه‌سازی مهندسی عمران و مهندسی منابع آب مانند عملکرد مخزن (۲۴)، مدیریت کنترل سیل (۲۲)، مدیریت کیفیت آب (۳،۸،۱۹) و بهینه‌یابی ضرایب روش ماسکینگام (۷،۱۰،۲۳) کاربرد دارد. همچنین پارامترهای روش ماسکینگام در پژوهش ظهیری و همکاران (۳۳) با الگوریتم ژنتیک و در پژوهش اکبری‌فرد و همکاران (۴) با الگوریتم چرخه آب و در پژوهش نجفی و همکاران (۲۵) با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان بهینه‌یابی شده‌اند. عبدالشاه نژاد (۲) به مطالعه روش‌های مختلف روندیابی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی سیلاب در بخشی از رودخانه کارون پرداخت. در این تحقیق مدل‌های ماسکینگام، ماسک ینگام کانژ[۱]، آت–کین اصلاح شده، کانوکس و مدل هیدرودینامیک Mike11، مورد بررسی قرار گرفت و در پایان مدل کانوکس به‌عنوان بهترین مدل پیشنهاد شد. دهقانی (۱۱) به ارزیابی کارایی روش‌های روندیابی در رودخانه زهره پرداخت. نتایج تحقیقات وی نشان

1- Muskingum-Cunge

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

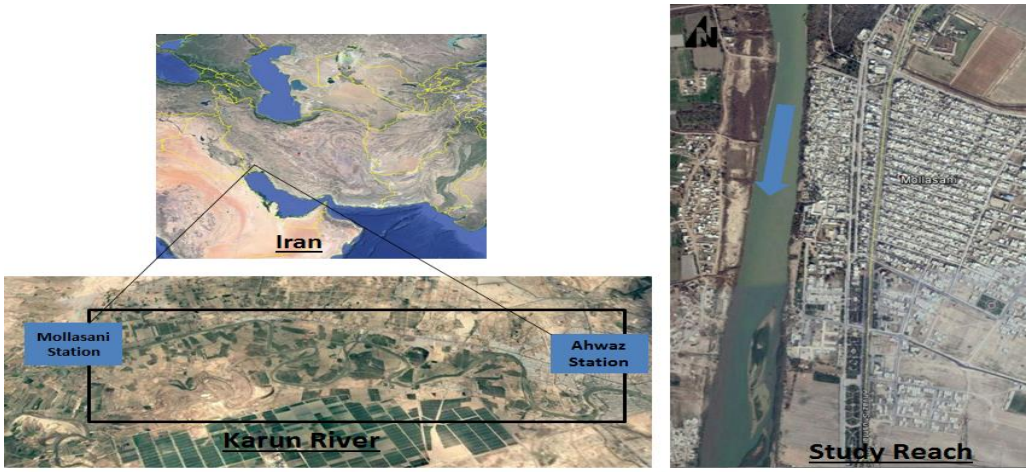
داد که مدل‌های روندیابی ماسکینگام، ماسکینگام کانژ و آت–کین به‌ترتیب دارای اولویت می‌باشند. قاسمیه (۱۶) کارایی روش‌های ماسکینگام و آت–کین اصلاح شده را در رودخانه بابل‌رود مورد ارزیابی قرار داده و روش ماسکینگام را مدلی با دقت بیشتر نسبت به روش آت–کین اصلاح شده بیان کرد. براتی و اکبری (۶) به بررسی و مقایسه روش‌های مختلف روندیابی هیدرولوژیکی سیلاب پرداختند و نتایج آن‌ها بیانگر آن است که روش ماسکینگام نسبت به روش مقادیر اجرایی، کانوکس و آت–کین اصلاح شده از کارایی بهتری برخوردار است. عباسی‌زاده و همکاران (۱) طی تحقیقی، کارایی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی سیل را در بخشی از رودخانه دز، مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها بیانگر آن است که روش‌های کانوکس، ماسکینگام و آت–کین اصلاح شده به‌ترتیب دارای بیشترین دقت هستند. معنوی و همکاران (۲۱) با استفاده از روش‌های آت–کین اصلاح شده و ماسکینگام به روندیابی سیل در بخشی از حوزه آبخیز تالار استان مازندران پرداختند. نتایج آن‌ها بیانگر دقت بالاتر روش ماسکینگام نسبت به روش آت–کین اصلاح شده می‌باشد.

در پژوهش حاضر، از آنجاییکه دامنه تغییرات دبی ورودی سیل سوم (سیل محاسباتی) در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مبنا) قرار دارد. استفاده از حالت‌های مختلف میانگین حسابی و میانگین هندسی پارامترهای $X, K, \Delta t$، باعث افزایش دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی (ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و آت–کین اصلاح شده) در برآورد هیدروگراف خروجی سیل محاسباتی شده‌است. شایان ذکر است که مقادیر پارامترهای $X, K, \Delta t$ هر یک از سیل‌های مبنا با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) بهینه‌یابی شده‌اند.

مواد و روش‌ها

معرفی محدوده مطالعاتی

در این پژوهش، از داده‌های ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری ملاثانی (شماره ایستگاه: ۳۰۸–۲۱، ′53 °48 شرقی، ′35 °31 شمالی) در بالادست و ایستگاه هیدرومتری اهواز (شماره ایستگاه: ۳۰۹–۲۱، ′40 °48 شرقی، ′20 °31 شمالی) در پایین‌دست بازه مورد مطالعه که هر دو مربوط به رود کارون واقع در ایران است، استفاده شده است (شکل ۱).



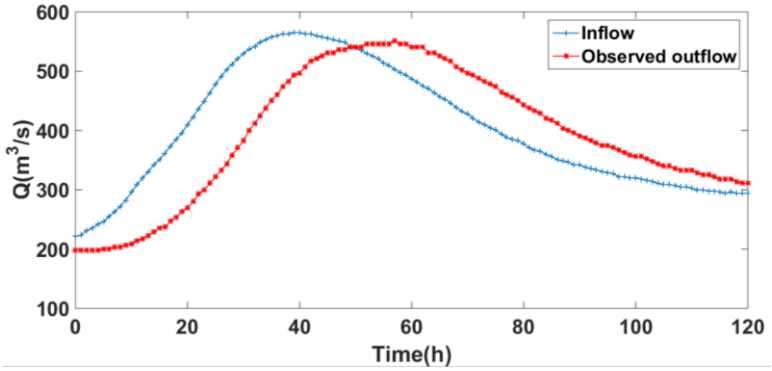
شکل ۱– محدوده مطالعاتی رودخانه کارون حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی (′53 °48 شرقی، ′35 °31 شمالی) و اهواز (′40 °48 شرقی، ′20 °31 شمالی)

Figure 1. Karun river study area between Mollasani (station no: 21-308, 48°53′ E, 31°35′N) and Ahwaz (station no: 21-309, 48°40′E, 31°20′N) hydrometric stations

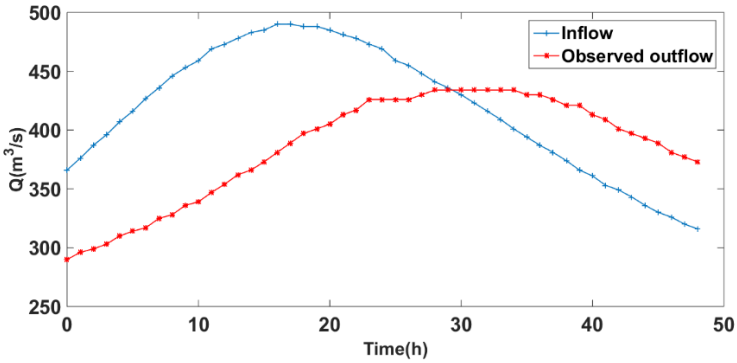
داده‌های محدوده مورد بررسی رود کارون

از داده‌های سیل (شکل ۲) با دامنه تغییرات دبی ورودی ۲۲۱ الی ۵۶۵ متر مکعب بر ثانیه که در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۰۷ الی ۱۳۹۰/۱۲/۱۱ رخ داده‌است، به‌عنوان سیل اول و داده‌های سیل (شکل ۳) با دامنه تغییرات دبی ورودی ۳۱۶ الی ۴۹۰ متر مکعب بر ثانیه که در تاریخ ۱۳۹۱/۰۸/۲۵ الی ۱۳۹۱/۰۸/۲۶ رخ داده‌است، به‌عنوان سیل مبنای دوم جهت محاسبه پارامترهای روش ماسکینگام خطی ($X,K, \Delta t$) استفاده‌گردیده‌است. مزیت اصلی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی این است که بتوان با استفاده از پارامترهای سیل مبنا (سیلی که مقادیر ورودی و خروجی آن ثبت شده باشد) هر سیل دیگری را که در بازه مورد مطالعه رخ داده‌است را مشروط بر این که مورفولوژی رودخانه تغییری نکرده باشد، روندیابی نمود (مشخصات سیل در پایین دست را به‌دست آورد). به‌همین دلیل در پژوهش حاضر، از پارامترهای به‌دست آمده از سیل‌های مبنا (سیل اول و دوم) جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (شکل ۴) با دامنه تغییرات دبی ورودی ۲۲۲ الی ۴۹۴ متر مکعب بر ثانیه که در تاریخ ۱۳۹۰/۱۱/۱۳ الی ۱۳۹۰/۱۱/۱۶ رخ داده، استفاده شده‌است. شایان ذکر است که هر سه سیل مربوط به بازه مذکور (ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی در بالادست و اهواز در پایین‌دست) رود کارون است.

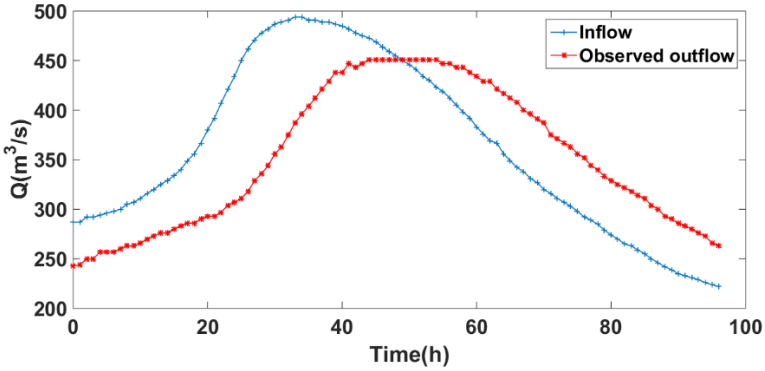
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]



شکل ۲- هیدروگراف ورودی و خروجی سیل اول (۱۳۹۰/۱۲/۰۷ الی ۱۳۹۰/۱۲/۱۱)
Figure 2. Inflow and Outflow hydrograph of the first flood (2012/02/26 to 2012/03/01)



شکل ۳- هیدروگراف ورودی و خروجی سیل دوم (۱۳۹۱/۰۸/۲۵ الی ۱۳۹۱/۰۸/۲۶)
Figure 3. Inflow and Outflow hydrograph of the second flood (2012/11/15 to 2012/11/16)



شکل ۴- هیدروگراف ورودی و خروجی سیل سوم (۱۳۹۰/۱۱/۱۳ الی ۱۳۹۰/۱۱/۱۶)
Figure 4. Inflow and Outflow hydrograph of the third flood (2012/02/02 to 2012/02/05)

روش ماسکینگام خطی[1]

روش ماسکینگام یکی از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی است. این روش طی مطالعات کنترل سیل ارائه گردید (۹). ذخیره کل از دو قسمت ذخیره منشوری که تابع دبی خروجی می‌باشد و ذخیره گوه‌ای یا تیغه‌ای که به تفاضل دبی‌های ورودی و خروجی بستگی دارد، تشکیل می‌گردد (۹) حال چنانچه رابطه بین ذخیره کل، دبی ورودی و خروجی (O,I,S) خطی فرض گردد، می‌توان رابطه حجم ذخیره شده را به‌صورت رابطه (۱) بیان کرد:

$$S = K[XI + (1-X)O] \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

معادله (۱) که به معادله ماسکینگام معروف است، اساس بحث در این روش را تشکیل داده و در آن X و K عبارتند از دو ضریب به گونه‌ای که با توجه به مجموعه داده‌ها، روابط مذکور را به‌صورت حتی‌الامکان خطی نمایند. X فاکتور وزنی است که بین صفر تا نیم در نظر گرفته می‌شود، K ثابت زمانی ذخیره، I دبی ورودی، O دبی خروجی و S حجم ذخیره می‌باشد. با توجه به پیوستگی جریان و حذف حجم ذخیره شده از دو معادله مذکور، رابطه (۲) به‌دست می‌آید (۹):

$$O_2 = C_1 I_2 + C_2 I_1 + C_3 O_1 \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

1- Linear Muskingum Method

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

که در معادله فوق C_3,C_2,C_1 به شرح روابط (۳) الی (۵) به‌دست می‌آیند:

$$C_1 = \frac{0.5\Delta t - KX}{K - KX + 0.5\Delta t}$$ (رابطه ۳)

$$C_2 = \frac{0.5\Delta t + KX}{K - KX + 0.5\Delta t}$$ (رابطه ۴)

$$C_3 = \frac{K - KX - 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta t}$$ (رابطه ۵)

روش مقادیر اجرایی[1]

روش مقادیر اجرایی نیز از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی است که در روندیابی سیل به‌کمک این روش از شدت جریان اجرایی (W)[2] استفاده می‌شود و آن عبارت است از شدت جریان دائمی فرضی که می‌تواند ذخیره‌ای معادل ذخیره گوه‌ای علاوه بر ذخیره منشوری ایجاد کند (۱۸).

اگر ذخیره گوه‌ای را برابر با K(W-O) فرض کنیم، رابطه (۶) را خواهیم داشت (۱۸):

$$W = X(I - O) + O = XI + O(1 - X)$$ (رابطه ۶)

و لذا در هر فاصله زمانی Δt، می‌توان مقدار دبی خروجی را از رابطه (۷) به‌دست آورد (۱۸):

$$O_{j+1} = \frac{W_{j+1} - I_{j+1}X}{1 - X}$$ (رابطه ۷)

با قرار دادن روابط مذکور در معادله پیوستگی و چنانچه مقدار $S_j(1-X) + 0.5\Delta t W_j$ را برابر با R_j و مقدار $S_{j+1}(1-X) + 0.5\Delta t W_{j+1}$ را برابر با R_{j+1} در نظر بگیریم، رابطه (۸) را می‌توان به‌صورت زیر بیان کرد (۱۸):

$$R_{j+1} = R_j + 0.5\Delta t(I_j + I_{j+1}) - \Delta t W$$ (رابطه ۸)

مقادیر R_j و R_{j+1} مقادیر اجرایی نامیده می‌شوند. حجم ذخیره نیز به‌صورت رابطه (۹) می‌باشد:

$$S_{j+1} = K_{j+1}W_{j+1}$$ (رابطه ۹)

برای روندیابی سیل با روش مقادیر اجرایی، ابتدا مقدار W_j را برای مقادیر معلوم I_j، O_j و X_j محاسبه کرده و سپس S_j، R_j و R_{j+1} و مقدار W و نهایتاً مقدار O_{j+1} تعیین شده و با مقدار O_{j+1} فرضی مقایسه می‌شود. چنانچه دو مقدار فرضی و محاسباتی با یکدیگر مساوی و یا نزدیک به یکدیگر باشند، مقدار دبی خروجی در این گام زمانی به‌دست آمده و در غیر این‌صورت بایستی مقداری جدید فرض نموده و روند فوق را برای به‌دست آوردن بهترین جواب ادامه داد (۱۸).

با توجه به خصوصیات بیان شده، هنگامی که رابطه دبی–ذخیره، خطی است، روش مقادیر اجرایی مشابه روش ماسکینگام خطی می‌باشد.

روش کانوکس[3]

روش کانوکس از جمله روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی سیل در رودخانه می‌باشد. در این روش X=0 در نظر گرفته می‌شود. در روش کانوکس، حجم ذخیره را می‌توان به‌صورت رابطه (۱۰) بیان کرد (۲۰):

$$S = KO$$ (رابطه ۱۰)

با قرار دادن رابطه (۱۰) در معادله پیوستگی، می‌توان رابطه (۱۱) را بیان کرد (۲۰):

$$Q_{t+\Delta t} = cI_t + (1-c)Q_t$$ (رابطه ۱۱)

در رابطه (۱۸)؛ I_t: دبی هیدروگراف ورودی در لحظه t، Q_t: دبی هیدروگراف خروجی در لحظه t و $Q_{t+\Delta t}$: دبی هیدروگراف خروجی در لحظه $t + \Delta t$ می‌باشد. همچنین ضریب C: ضریب کانوکس است و برای محاسبه آن، روابط متعددی به‌صورت جدول ۱ بیان شده‌است. در پژوهش حاضر، از روش تراول تایم جهت محاسبه ضریب کانوکس استفاده‌شده است.

جدول ۱- روابط مربوط به ضریب کانوکس

Table 1. Convex coefficient Relationships

عنوان روش	رابطه ضریب کانوکس
تراول تایم	$c = \frac{\Delta t}{k}$
سینگ	$c = \frac{\overline{V}}{1.7 + \overline{V}}$
سازمان حفاظت خاک آمریکا	$C = \frac{\overline{V}}{0.518 + \overline{V}}$
گرافیکی	$C = \frac{\sum(O_2 - O_1)(I_1 - O_1)}{\sum(I_1 - O_1)^2}$

1- Working Values 2- Working Discharge 3- Convex Method

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

روش آت-کین اصلاح شده[1]

در این روش چنانچه معادله پیوستگی به ازای Q_2 حل شود، رابطه (۱۲) را خواهیم داشت (۲۰):

$$Q_{j+1} = C_m I_j + (1-C_m)Q_j \qquad \text{(رابطه ۱۲)}$$

در این رابطه I و Q به ترتیب دبی ورودی و دبی خروجی در زمان‌های j و j +1 می‌باشند، Δt گام زمانی و K ثابت زمانی ذخیره است. مقدار $\frac{2\Delta t}{2K+\Delta t}$ برابر C_m فرض شده و به آن ضریب آت-کین گفته می‌شود.

شایان ذکر است، پارامترهای X, K, Δt بیان شده در هر سه روش؛ مقادیر اجرایی، کانوکس و آت-کین اصلاح شده، همان پارامترهای به‌دست آمده از روش ماسکینگام خطی می‌باشند.

الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات[2]

این الگوریتم برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ توسط ابرهارت و کندی معرفی و ارائه گردیده‌است (۱۳). از مزایای الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات می‌توان به ساختار و پیاده‌سازی ساده، تعداد کم پارامترهای قابل کنترل و سرعت همگرایی بالا و همچنین بازده محاسباتی بالا اشاره کرد. در اجرای الگوریتم، موقعیت و سرعت هر ذره در مرحله t+1ام از الگوریتم از روی اطلاعات مرحله قبلی ساخته می‌شوند. اگر منظور از z مولفه iام بردار z باشد، آنگاه روابطی که سرعت و موقعیت ذرات را تغییر می‌دهند، عبارت‌اند از: روابط (۱۴) و (۱۵):

(رابطه ۱۴)

$$v_j^i[t+1] = wv_j^i[t] + c_1 r_1\left(x_j^{iBest}[t] - x_j^i[t]\right) + c_2 r_2\left(x_j^{gBest}[t] - x_j^i[t]\right)$$

$$x_j^i[t+1] = x_j^i[t] + v_j^i[t+1] \qquad \text{(رابطه ۱۵)}$$

که w ضریب اینرسی، r_1 و r_2 اعداد تصادفی در بازه‌ی (0,1) با توزیع یکنواخت و همچنین c_1 و c_2 پارامترهای یادگیری هستند که باعث می‌شوند نوعی گوناگونی در جواب‌ها به وجود بیاید و این صورت جستجوی کامل‌تری روی فضای مربوطه انجام پذیرد، مقدار این پارامترهای در بازه (0,2) انتخاب می‌شوند. در معادله فوق با گذشت زمان اگر ذره‌ای دارای تابع هزینه‌ای کمتر (یا تابع سودی بیشتر) از x_j^{gBest} باشد جایگزین این ذره خواهد شد و مقدار هزینه و موقعیت این ذره به‌روزرسانی خواهد شد (۱۲،۲۸).

برای ارزیابی مقادیر بهینه پارامترهای X, K, Δt در مدل ماسکینگام خطی، از کمینه کردن مقدار مجموع انحراف مطلق (SAD) که به صورت رابطه (۱۶) تعریف می‌شود، به‌عنوان تابع هدف در الگوریتم PSO استفاده‌شده‌است:

$$SAD = \sum_{i=1}^{n} |O_i - Q_i| \qquad \text{(رابطه ۱۶)}$$

که در آن O_i , Q_i به ترتیب دبی خروجی مشاهداتی و دبی خروجی روندیابی شده (محاسباتی) هستند.

همچنین جهت محاسبه میانگین حسابی هر یک از پارامترهای روش ماسکینگام خطی از رابطه ۱۷ و جهت محاسبه میانگین هندسی پارامترهای مذکور از رابطه ۱۸ استفاده‌شده‌است.

(رابطه ۱۷)

$$X = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

(رابطه ۱۸)

$$X = \sqrt{X_1 * X_2}$$

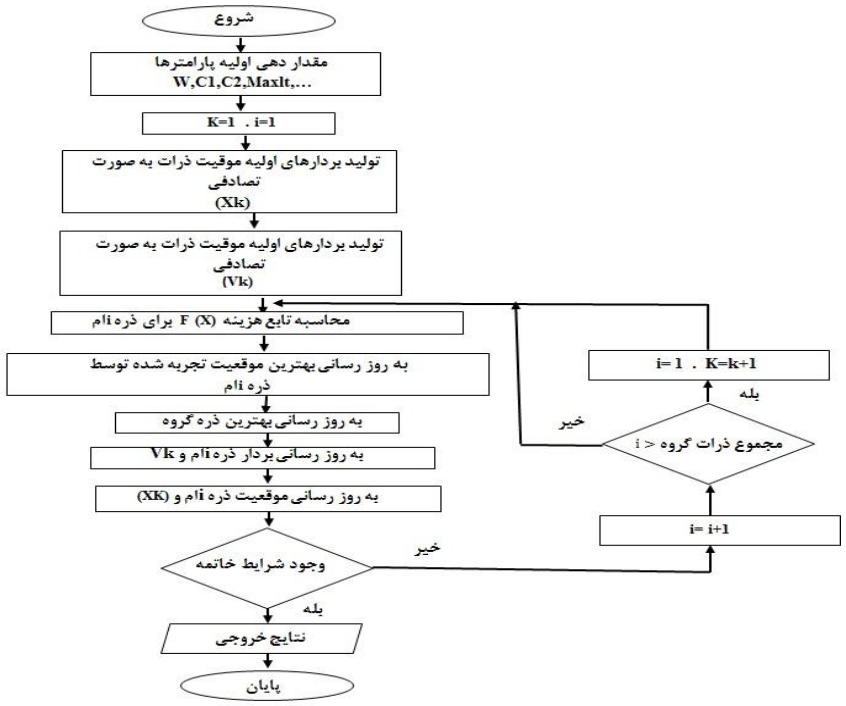
جهت محاسبه میانگین حسابی و میانگین هندسی پارامترهای K, Δt نیز از روابطی مشابه روابط فوق که برای پارامتر X بیان شده‌است، استفاده‌گردیده‌است.

فلوچارت استفاده شده در پژوهش حاضر جهت بهینه‌یابی پارامترهای روش ماسکینگام خطی با استفاده از الگوریتم PSO و تابع هدف SAD در شکل ۵ ارائه شده‌است.

1- Modified Att-Kin Method

2- Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]



شکل ۵- فلوچارت الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات
Figure 5. Flowchart of the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm

به‌طور کلی پژوهش حاضر از مراحل زیر تشکیل شده‌است:
۱) بهینه‌یابی پارامترهای روش ماسکینگام خطی (X, K, Δt) با استفاده از داده‌های سیل مبنای اول که دامنه تغییرات دبی ورودی آن بین ۲۲۱ الی ۵۶۵ متر مکعب بر ثانیه است.
۲) بهینه‌یابی پارامترهای روش ماسکینگام خطی (X, K, Δt) با استفاده از داده‌های سیل مبنای دوم که دامنه تغییرات دبی ورودی آن بین ۳۱۶ الی ۴۹۰ متر مکعب بر ثانیه است.
۳) محاسبه حالت‌های مختلف میانگین حسابی و میانگین هندسی پارامترهای به‌دست آمده از مراحل ۱و۲ که در جدول ۲ بیان شده‌است.
۴) استفاده از هر چهار روش روندیابی هیدرولوژیکی و مقادیر X, K, Δt به‌دست آمده از مراحل فوق جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (سیل محاسباتی) که دامنه تغییرات دبی ورودی آن بین ۲۲۲ الی ۴۹۴ متر مکعب بر ثانیه است.
۵) محاسبه درصد میانگین خطای نسبی مربوط به داده‌های کل سیل و ناحیه اوج سیل که در جدول ۳ بیان شده‌است.

نتایج و بحث

دامنه تغییرات دبی ورودی سیل سوم (سیل محاسباتی) به‌طور تقریبی در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل اول و دوم (سیل‌های مبنا) قرار گرفته‌است. به‌همین دلیل به‌جای استفاده از پارامترهای یک سیل مبنا جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم، از حالت‌های ارائه شده در جدول ۲ جهت محاسبه پارامترهای مذکور استفاده‌شده‌است. به‌عبارت دیگر، بررسی‌های انجام شده بیانگر آن است که؛ مقادیر X, K, Δt هر بازه‌ای از رودخانه، به مقادیر عددی هیدروگراف سیل ورودی و خروجی و یا به وسعت مساحت سیل‌گیری مقاطع مختلف رودخانه در طول بازه مورد بررسی بستگی دارد. اگر مقادیر دبی ورودی سیل محاسباتی (سیل سوم) در حدفاصل دو سیل مبنای مشاهداتی باشد، آنگاه می‌توان انتظار داشت که رفتار جریان عبوری سیل محاسباتی در حد فاصل رفتار جریان سیل‌های مبنای اول و دوم قرار گیرد. بنابراین در صورت استفاده از حالت‌های مختلف پارامترهای X, K, Δt به‌دست آمده از دو سیل مبنا (جدول ۲)، می‌توان انتظار داشت که دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی افزایش خواهد یافت.

پارامترهای روش ماسکینگام خطی (X, K, Δt) برای هر یک از سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مبنا) و ۸ حالت ارائه شده در پژوهش حاضر که با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) بهینه‌یابی شده‌اند، در جدول ۲ ارائه شده‌است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

جدول ۲- پارامترهای روندیابی به‌دست آمده برای حالت‌های مختلف

Table 2. Routing parameters obtained for different models

حالت	حالت‌های مختلف پارامترهای روندیابی	X (nondimensional)	K (hour)	Δt (hour)
۱	با استفاده از سیل اول	۰/۴۰۱	۱۴/۷۰۹	۱/۱۰۲
۲	با استفاده از سیل دوم	۰/۰۷۸	۱۱/۹۵۷	۰/۶۷۵
۳	X و Δt (AM*) K (GM**)	۰/۲۳۹۵	۱۳/۲۶۱۸	۰/۸۸۵
۴	K و Δt (AM) X (GM)	۰/۱۷۶۸	۱۳/۳۳۳	۰/۸۸۵
۵	Δt (AM) X و K (GM)	۰/۱۷۶۸	۱۳/۲۶۱۸	۰/۸۸۵
۶	X و K و Δt (GM)	۰/۱۷۶۸	۱۳/۲۶۱۸	۰/۸۶۲۴
۷	X و K و Δt (AM)	۰/۲۳۹۵	۱۳/۳۳۳	۰/۸۸۵
۸	X و Δt (AM) K (GM)	۰/۲۳۹۵	۱۳/۳۳۳	۰/۸۶۲۴
۹	K و Δt (AM) X (GM)	۰/۲۳۹۵	۱۳/۲۶۱۸	۰/۸۶۲۴
۱۰	X و Δt (AM) K (GM)	۰/۱۷۶۸	۱۳/۳۳۳	۰/۸۶۲۴

* میانگین حسابی ** میانگین هندسی

چنانچه جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (سیل محاسباتی) از پارامترهای هر یک از حالت‌های ارائه‌شده در جدول ۲ استفاده شود، مقادیر مربوط به میانگین خطای نسبی کل سیل و میانگین خطای نسبی ناحیه اوج سیل برای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی (ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و آت-کین اصلاح شده) در جدول ۳ ارائه شده است.

همانطور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، حالت‌های ارائه شده در پژوهش حاضر، در تمامی حالت‌ها باعث افزایش دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد سیل خروجی مربوط به ناحیه اوج هیدروگراف ورودی سیل سوم (سیل محاسباتی) شده‌است. مطابق جدول ۳، زمانی که از سه حالت ارائه‌شده در حالت میانگین هندسی پارامتر Δt (حالت‌های ۸، ۹ و ۱۰) جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم (سیل محاسباتی) استفاده شود، بالاترین دقت برای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف خروجی ناحیه اوج سیل به‌دست آمده‌است.

چنانچه در جدول ۳ ملاحظه می‌گردد؛ میانگین خطای نسبی مربوط به کل هیدروگراف سیل خروجی در شرایط استفاده از حالت‌های مختلف برای مقادیر X, K, Δt نسبت به شرایطی که فقط از سیل مبنای اول و دوم استفاده‌شده‌است، کاهش چندانی نمی‌یابد. در حالیکه مقادیر مربوط به میانگین خطای نسبی ناحیه اوج سیلاب با استفاده از حالت‌های ارائه شده در پژوهش حاضر، در تمامی حالت‌ها کاهش یافته‌است. به‌عبارت دیگر، نتایج پژوهش حاضر بیانگر آن است که؛ چنانچه دامنه تغییرات دبی ورودی سیل محاسباتی (سیل سوم) در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های مبنا (سیل اول و دوم) قرار داشته باشد، در شرایط استفاده از میانگین هندسی پارامتر Δt و میانگین حسابی پارامترهای X,K (حالت ۸) نسبت به تمامی حالت‌ها (چه استفاده از یک سیل مبنا به‌تنهایی و چه در حالت استفاده از سایر حالت‌های ارائه شده در پژوهش حاضر) روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف ناحیه اوج سیلاب از دقت بیشتری برخوردار است. به‌عبارت دیگر، مطابق با پژوهش‌های قبلی بیان شده، هر یک از روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در شرایط مربوط به یک رودخانه بهترین عملکرد را داشته و دقت بالای آن در یک رودخانه، دلیلی بر داشتن دقت بالا در سایر رودخانه‌ها نمی‌باشد. در حالیکه در این پژوهش، راهکاری جهت افزایش دقت تمامی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی ارائه شده‌است.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

جدول ۳- مقادیر خطای روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی برای حالت‌های مختلف پارامترهای X و K و Δt

Table 3. Error values of hydrological routing methods for different models of X, K and Δt parameters

حالت	روش روندیابی هیدرولوژیکی	درصد میانگین خطای نسبی کل سیلاب	درصد میانگین خطای نسبی ناحیه اوج (t=۲۷ الی t=۵۵ ساعت)
۱	ماسکینگام خطی	۴/۶۹	۴/۸۹
	مقادیر اجرایی	۴/۶۹	۴/۸۹
	کانوکس	۴/۵۳	۴/۲۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۵۴	۳/۷۶
۲	ماسکینگام خطی	۵/۳۷	۲/۹۱
	مقادیر اجرایی	۵/۳۷	۲/۹۱
	کانوکس	۵/۵۱	۳/۲۶
	آت-کین اصلاح شده	۵/۶۶	۳/۳۹
۳	ماسکینگام خطی	۴/۶۸	۲/۱۹
	مقادیر اجرایی	۴/۶۸	۲/۱۹
	کانوکس	۴/۶۹	۳/۲۳
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۳	۳/۱۴
۴	ماسکینگام خطی	۴/۶۴	۲/۲۵
	مقادیر اجرایی	۴/۶۴	۲/۲۵
	کانوکس	۴/۷۲	۳/۲۱
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۵	۳/۱۳
۵	ماسکینگام خطی	۴/۶۴	۲/۳۳
	مقادیر اجرایی	۴/۶۴	۲/۳۳
	کانوکس	۴/۶۹	۳/۲۳
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۳	۳/۱۴
۶	ماسکینگام خطی	۴/۶۷	۲
	مقادیر اجرایی	۴/۶۷	۲
	کانوکس	۴/۸۲	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۶	۳/۱۰
۷	ماسکینگام خطی	۴/۶۸	۲/۱۱
	مقادیر اجرایی	۴/۶۸	۲/۱۱
	کانوکس	۴/۷۲	۳/۲۱
	آت-کین اصلاح شده	۴/۸۵	۳/۱۳
۸	ماسکینگام خطی	۴/۷۱	۱/۶۶
	مقادیر اجرایی	۴/۷۱	۱/۶۶
	کانوکس	۴/۸۴	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۸	۳/۰۹
۹	ماسکینگام خطی	۴/۷	۱/۷۳
	مقادیر اجرایی	۴/۷	۱/۷۳
	کانوکس	۴/۸۴	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۴	۳/۱۰
۱۰	ماسکینگام خطی	۴/۶۸	۱/۹۵
	مقادیر اجرایی	۴/۶۸	۱/۹۵
	کانوکس	۴/۸۴	۳/۱۴
	آت-کین اصلاح شده	۴/۹۸	۳/۰۹

در پژوهش حاضر، با توجه به اینکه، دامنه تغییرات دبی ورودی سیل سوم که به‌عنوان سیل محاسباتی مورد استفاده قرار گرفته، در حد فاصل دامنه تغییرات دبی ورودی سیل‌های اول و دوم (سیل‌های مبنا) قرار دارد. به‌طوریکه مقدار مینیمم آن نزدیک به مقدار دبی ورودی سیل مبنای اول و مقدار ماکزیمم آن به دبی ورودی سیل مبنای دوم نزدیک‌تر است. به‌جای استفاده از پارامترهای به‌دست آمده از یک سیل مبنا، استفاده از میانگین حسابی و میانگین هندسی مربوط به دو سیل مبنا در حالت‌های مختلف ارائه شده در جدول ۲ مورد بررسی قرار گرفته‌است. به‌همین دلیل استفاده از پارامترهای به‌دست آمده در حالت‌های مذکور، به‌جای استفاده از پارامترهای یک سیل مبنا در تمامی حالت‌ها باعث افزایش دقت روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد ناحیه اوج هیدروگراف ورودی سیل محاسباتی شده‌است.

چنانچه از پارامترهای X و K و Δt به‌دست آمده از داده‌های سیل مبنای اول جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم استفاده شود، درصد میانگین خطای نسبی مربوط به ناحیه اوج سیل برای روش‌های ماسکینگام خطی، مقادیر اجرایی، کانوکس و آت-کین اصلاح شده به‌ترتیب ۴/۸۹، ۴/۸۹، ۴/۲۴ و ۳/۷۶ درصد محاسبه شده و مقادیر مذکور در حالتی که از پارامترهای سیل مبنای دوم استفاده شود، به‌ترتیب ۲/۹۱، ۲/۹۱، ۳/۲۶ و ۳/۳۹ درصد به‌دست آمده است. در حالیکه مقادیر مذکور در حالتی‌که از میانگین حسابی پارامترهای X و K و میانگین هندسی پارامتر Δt (بهترین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

حالت ارائه شده در پژوهش حاضر، حالت ۸) به‌دست آمده از دو سیل مبنا استفاده شود، به‌ترتیب ۱/۶۶، ۱/۶۶، ۳/۱۴ و ۳/۰۹ درصد به‌دست‌آمده‌است.

به‌عبارت دیگر، بهترین حالت ارائه شده در پژوهش حاضر (حالت ۸) نسبت به شرایطی که از پارامترهای به‌دست آمده از داده‌های سیل اول به‌تنهایی جهت محاسبه هیدروگراف خروجی سیل سوم استفاده شود، باعث افزایش دقت ۶۶ درصدی روش ماسکینگام خطی، ۶۶ درصدی روش مقادیر اجرایی، ۲۵ درصدی روش کانوکس و ۱۸ درصدی روش آت-کین اصلاح شده در برآورد هیدروگراف خروجی ناحیه اوج سیلاب شده‌است. همچنین مقادیر مذکور نسبت به حالتی‌که از داده‌های سیل دوم به‌تنهایی استفاده شود، به‌ترتیب ۴۳، ۴۳، ۴ و ۹ درصد می‌باشد.

به‌طور کلی هر ۸ حالت ارائه شده در پژوهش حاضر، باعث افزایش دقت تمامی روش‌های روندیابی هیدرولوژیکی در برآورد هیدروگراف خروجی ناحیه اوج سیل که در کارهای مهندسی و طراحی سازه‌های هیدرولیکی اهمیت بالایی دارد، شده‌است.

تشکر و قدردانی

از واحد مطالعات شرکت مدیریت منابع آب ایران به‌دلیل کمک فراوانی که در جمع‌آوری و در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز در انجام پژوهش حاضر داشتند، تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

منابع

1. Abbasizadeh, M., M. Mahdavi and A. Salajeghe. 2010. Evaluation of Flood Routing Methods Efficiency (Case Study: Dez River), 63-76 (In Persian).
2. Abdolshahnejad, A. 1997. Comparison of different methods hydraulic and hydrologic in flood routing (Case Study: Part of Karoun river), M.Sc. Thesis, University of Tehran, 230 pp (In Persian).
3. Afshar, A., H. Kazemi and M. Saadatpour. 2011. Particle swarm optimization for automatic calibration of large scale water quality model (CE-QUAL-W2): Application to Karkheh Reservoir, Iran. Water resources management, 25(10): 2613-2632.
4. Akbarifard, S., K. Qaderi and M. Alinnejad. 2018. Parameter estimation of the nonlinear muskingum flood-routing model using water cycle algorithm. Journal of Watershed Management Research, 8(16): 34-43.
5. Asiaban, P., E. Amiri Tokaldany and M. Tahmasebi Nasab. 2015. Simulation of water surface profile in vertically stratified rockfill dams. International Journal of Environmental Research, 9(4): 1193-1200.
6. Barati, R. and G.M. Akbari. 2012. Comparison of Flood Routing Hydrology Models in Rivers. Iranian Water Researches Journal, 105-114 (In Persian).
7. Bazargan, J. and H. Norouzi. 2018. Investigation the Effect of Using Variable Values for the Parameters of the Linear Muskingum Method Using the Particle Swarm Algorithm (PSO). Water Resources Management, 32(14): 4763-4777.
8. Chau, K. 2005. A split-step PSO algorithm in prediction of water quality pollution. In International Symposium on Neural Networks (pp. 1034-1039). Springer, Berlin, Heidelberg.
9. Chow, V. 1959. Open channel hydraulics, Newyork; Macgraw-Hill Book Company.
10. Chu, H.J. and L.C. Chang. 2009. Applying particle swarm optimization to parameter estimation of the nonlinear Muskingum model. Journal of Hydrologic Engineering, 14(9): 1024-1027.
11. Dehghani, M. 2004. The Efficiency Assessment of Flood Routing Methouds in Tidal Zohre River, M.Sc. Thesis, Tarbiat Modarres University, 104 pp (In Persian).
12. Di Cesare, N., D. Chamoret and M. Domaszewski. 2015. A new hybrid PSO algorithm based on a stochastic Markov chain model. Advances in engineering software, 127-137.
13. Eberhart, R. and J.A. Kennedy. 1995. New optimizer using particle swarm theory. In MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science, 39-43.
14. Farahani, N., S. Farzin and H. Karami. 2018. Flood routing by Kidney algorithm and Muskingum model. Natural Hazards, 1-19.
15. Formetta, G., I. Prosdocimi, E. Stewart and V. Bell. 2018. Estimating the index flood with continuous hydrological models: an application in Great Britain. Hydrology Research, 49(1): 123-133.
16. Ghasemieh, H. 2005. Investigation of Muskingum and Modified Att-Kin Methoud Efficiency in river Flood Routing (Case Study, Babolroud River), M.Sc. Thesis, University of Mazandaran, 136 pp (In Persian).
17. Gholami, V., K.W. Chau, F. Fadaee, J. Torkaman and A. Ghaffari. 2015. Modeling of groundwater level fluctuations using dendrochronology in alluvial aquifers. Journal of hydrology, 529: 1060-1069.
18. Hamedi, M.H. 2011. Open Channel Hydraulics, Khaje Nasir University. Second edition (In Persian).
19. Lu, W.Z., H.Y. Fan, A.Y.T. Leung and J.C.K. Wong. 2002. Analysis of pollutant levels in central Hong Kong applying neural network method with particle swarm optimization. Environmental monitoring and assessment, 79(3): 217-230.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

20. Mahdavi, M. 2013. Applied hydrology. Tehran University. Second edition (In Persian).
21. Manavi Amiri. S.M., A. Malekian, K. Shahedi and B. Motamed Vaziri. 2013. Evaluation of Muskingum and Modified Att-Kin Methods Efficiency in Flood Routing (Case Study: Talar Watershed, Mazandaran Province), 106-119 (In Persian).
22. Meraji, S.H. 2004. Optimum design of flood control systems by particle swarm optimization algorithm (Doctoral dissertation, M.Sc. Thesis, Iran University of Science and Technology).
23. Moghaddam, A., J. Behmanesh and A. Farsijani. 2016. Parameters estimation for the new four-parameter nonlinear Muskingum model using the particle swarm optimization. Water resources management, 30(7): 2143-2160.
24. Nagesh Kumar, D. and M. Janga Reddy. 2007. Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization. Journal of Water Resour Plan Manag, 133: 192-201.
25. Najafi, I., A. Emadi and M.A. Gholami-Sefidkuhi. 2020. Calibration of Muskingum Method using Ant Colony Algorithm (Case Study: Garmrood Basin). Journal of Watershed Management Research,
26. Reggiani, P., E. Todini and D. Meißner. 2016. On mass and momentum conservation in the variable-parameter Muskingum method. Journal of Hydrology, 543: 562-576.
27. Rowshan, G.R., H. Mohammadi, T. Nasrabadi, H. Hoveidi and A. Baghvand. 2007. The role of climate study in analyzing flood forming potential of water basins. International Journal of Environmental Research, 1(3): 231-236.
28. Shi, Y. and R.A. Eberhart. 1998. Modified particle swarm optimizer. In1998 IEEE international conference on evolutionary computation proceedings. IEEE world congress on computational intelligence (Cat. No. 98TH8360), 69-73.
29. Tsai, C.W. 2005. Flood routing in mild-sloped rivers-wave characteristics and downstream backwater effect. Journal of Hydrology, 308(1): 151-167.
30. Vafaei, F. and A.N. Harati. 2010. Strategic Management in Decision Support System for Coastal Flood Management. International Journal of Environmental Research, 4(1): 169-176.
31. Wu, C.L. and K.W. Chau. 2011. Rainfall–runoff modeling using artificial neural network coupled with singular spectrum analysis. Journal of Hydrology, 399(3-4): 394-409.
32. Yadav, B., M. Perumal and A. Bardossy. 2015. Variable parameter McCarthy–Muskingum routing method considering lateral flow. Journal of Hydrology, 523: 489-499.
33. Zahiri, A., S. Sharifan and S. Tamadoni Kenari. 2012. Optimization of Muskingum Method for Flood Routing in Flooded Rivers. Journal of Watershed Management Research, 3(6): 1-14.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]

Different types of Optimizing the Parameters of Hydrological Routing Methods using Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Flood Routing in the Karun River

Hadi Norouzi[1], Vahid Karimi[2], Jalal Bazargan[3] and Haidar Hemmati[4]

1- Ph.D. Student in Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Zanjan University (Corresponding author: hadinorouzi72@gmail.com)
2- Master Student of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Zanjan University
3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Zanjan University
4- Ph.D. in Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, University of Tehran
Received: June 21, 2020 Accepted: September 14, 2020

Abstract

Optimizing the parameters of hydrological routing methods has a special place in increasing the accuracy of estimating outflow hydrograph and also calculating the peak area of flood hydrograph in engineering works. In the present study, since the range of changes in the inflow of the third flood (computational flood) is between the range of changes of the inflow of the first and second floods (base floods), For this reason, in order to increase the flood routing accuracy by using hydrological routing methods (linear Musking method, Working values, convex and modified Att-Kin), instead of using the parameters (X, K, Δt) of a baseline flood, the arithmetic mean and the geometric of the two baseline flood parameters is discussed in 8 different modes using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm. In other words, the use of all 8 modes presented in the present study has increased the accuracy of hydrological routing methods in estimating the peak area of flood hydrographs between Mollasani (upstream) and Ahwaz (downstream) hydrometric stations of the Karun River. Thus, in the best case presented in the present study (mode 8), the mean relative error of the computational flood peak area relative to the conditions in which the first baseline flood is used alone, for the mentioned methods are 66, 66, 25 and 18%, respectively, and in conditions When the second baseline flood is used alone, it has improved by 43, 43, 4 and 9%, respectively.

Keywords: Different modes of optimization of X, Flood Routing, Hydrological Routing Method, K, Δt parameters, Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1400.12.23.24.9]
[DOI: 10.52547/jwmr.12.23.285]