



## واسنجی روش روندیابی ماسکینگام با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان (مطالعه موردی: حوزه گرمرد)

ایمان نجفی<sup>۱</sup>، علیرضا عمادی<sup>۲</sup> و محمد علی غلامی سفیدکوهی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، سازه‌های آبی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
۲- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسؤل: emadia355@yahoo.com)  
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۱  
صفحه: ۱۰ تا ۱

### چکیده

روندیابی رودخانه و مخزن یکی از نکات مهم در پیش‌بینی سیلاب خروجی از حوزه آبخیز می‌باشد. بنابراین دقت در محاسبه آن سبب افزایش دقت سیلاب خروجی از حوزه آبخیز می‌شود. روش ماسکینگام یکی از روش‌های روندیابی رودخانه می‌باشد که ضرایب K و X با توجه به نوع حوزه آبخیز و رودخانه تعیین می‌شود. در اکثر حوزه‌های آبخیز به دلیل عدم دسترسی به همی پارامترها، این ضرایب به صورت تقریبی در نظر گرفته می‌شوند لذا هدف از این پژوهش واسنجی روش ماسکینگام در حوزه گرمرد و تعیین ضرایب K و X بهینه می‌باشد. به این منظور ابتدا حوزه آبخیز گرمرد با استفاده از الحاقیه HEC-GeoHMS در محیط نرم‌افزار ARC GIS به ۲۱ زیر حوزه و ۱۸ بازه رودخانه تقسیم‌بندی شد. با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS سیلاب خروجی از هر یک از زیر حوزه‌ها محاسبه و روندیابی سیستم رودخانه‌ها با استفاده از مدل کامپیوتری تهیه‌شده انجام شد. به منظور واسنجی از روش بهینه‌سازی الگوریتم جامعه مورچگان استفاده شد، به صورتی که در مجموع ۳۶ متغیر تصمیم (شامل ۱۸ متغیر K و ۱۸ متغیر X) تعیین شد. تابع هدف مجذور میانگین مربعات خطای داده‌های دبی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی خروجی حوزه آبخیز در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد ضرایب بهینه نسبت به ضرایب معمول در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی به ترتیب مقدار تابع هدف را ۲۸٪ و ۴/۲٪ کاهش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم کلونی مورچگان، حوزه آبخیز گرمرد، روش ماسکینگام، روندیابی سیلاب، مدل HEC-HMS

### مقدمه

بررسی قرار دادند. برای بهینه‌سازی اندازه و مکان و به‌طور کلی معماری از الگوریتم جامعه مورچگان و برای شبیه‌سازی حوزه‌های آبخیز از مدل SWAT بهره گرفتند. کارایی مدل پیشنهادی در حوزه‌ای فرضی مورد مطالعه قرار گرفت و به این نتیجه رسیدند که استفاده از بهینه‌ساز کلونی مورچگان و شبیه‌ساز SWAT به محققین توانایی مدل‌سازی حوزه‌های آبخیز و کنترل بار آلودگی غیره نقطه‌ای را خواهد داد (۳). اکبری‌فرد و همکاران پارامترهای روش ماسکینگام غیر خطی را با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی GA، PSO، جستجوی هارمونیک، رقابت استعماری و الگوریتم جستجوی گرگ مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌ها نشان داد در میان الگوریتم‌های مذکور، الگوریتم جستجوی گرگ می‌تواند برآورد مناسب‌تری از مقادیر بهینه پارامترهای مدل ماسکینگام غیرخطی ارائه دهد (۲). ایکهارت و همکاران واسنجی مدل SWAT-G را در شبیه‌سازی حوزه با استفاده از روش SCE انجام دادند. نتایج به دست آمده نشان داد که مقادیر دبی اوج کمتر تخمین زده شده است (۱۲). معصومی و همکاران بهینه‌سازی همزمان آرایش و قطر خط لوله‌ها، در شبکه‌های آبرسانی تحت فشار بر حسب تقاضا را مورد بررسی قرار داده و رویکرد آن را به صورت تلفیقی از چند الگوریتم مجزا در بدنه‌ی سیستم جامعه مورچگان قرار دادند و آرایش و قطر خط لوله‌های شبکه آبرسانی را به شرطی که حداقل هزینه ساخت به صورت تابع هدف تعریف شود را بهینه‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که الگوریتم جامعه مورچگان ACO توانایی بهینه‌سازی مناسبی را در این راستا دارد (۱۳). نجفی و عمادی براساس

سیلاب‌ها یکی از بلاایای طبیعی شناخته شده در جهان هستند که خسارات زیادی را به جوامع انسانی، تأسیسات، مراکز صنعتی و اراضی کشاورزی به ویژه در مجاورت رودخانه‌ها تحمیل می‌کند. در ایران موقعیت جغرافیایی و وضعیت بارش و شرایط فیزیکی حوزه‌های آبخیز باعث ایجاد جریان‌های شدیدی می‌شود، که خسارات ناشی از آنها به‌طور فزاینده‌ای در حال افزایش است (۱۸). از این رو پیش‌بینی سیلاب و شناخت مناطق سیل خیز می‌تواند در کنترل و استفاده‌ی بهینه از آن نقش مؤثری داشته باشد. مدل‌های واسنجی شده بارش-رواناب بخش اصلی محاسبات فرایند تبدیل بارش به سیلاب رادر سر شاخه‌ها و حوزه‌های میانی، در سیستم پیش‌بینی، تشکیل می‌دهند (۶). به طور کلی، هدف از واسنجی افزایش دقت پیش‌بینی می‌باشد (۱۵). کمالی و موسوی مدل مفهومی HEC-HMS را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO چند منظوره واسنجی کردند. در آن پژوهش، مدل در دو بخش تک و چند هدفه بررسی شد. در بخش پایانی، بهینه‌سازی چند هدفه در شرایط معلوم بودن اولویت مدل‌ساز در هیدروگراف، به صورت ترکیبی از مدل بهینه‌سازی و الگوریتم PSO، تحلیل شد. نتایج نشان داد رویکرد چند هدفه‌ی فازی می‌تواند عملکردی مناسب در یافتن یک جواب مؤثر و کارآمد از مقادیر پارامترهای مدل داشته باشد (۹). افشار و امامی با استفاده از یک مدل شبیه‌سازی-بهینه‌سازی چندمنظوره، برنامه‌ریزی و طراحی یکپارچگی حوضچه‌های نگهدارنده در سطح حوزه‌های آبخیز را مورد

1- Particle swarm optimization  
3- Shuffled Complex Evolution

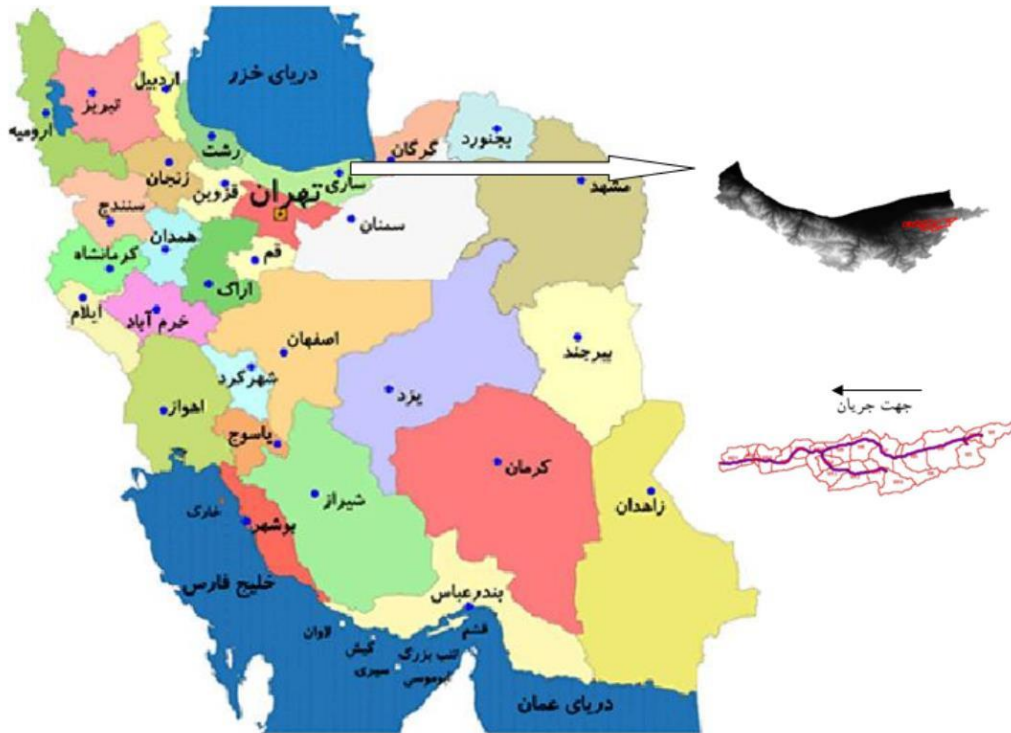
2- Genetic Algorithm  
4- Ant Colony Optimization

ماسکینگام، به منظور روندیابی رودخانه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ACO می‌باشد.

### مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه گرمرود در شمال ایران در استان مازندران و در جنوب شهر ساری قرار دارد مساحت این حوزه ۸۷۷ کیلومتر مربع می‌باشد و در این حوزه رودخانه گرمرود قرار دارد. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز را نشان می‌دهد.

تئوری روش کاهش سطح و مدل بهینه‌سازی به روش الگوریتم مورچگان یک مدل کامپیوتری تهیه کردند و سپس این دو مدل با یکدیگر ترکیب شدند. با استفاده از این مدل بهترین پارامترها در روش کاهش سطح برای سد کرج به دست آمد. نتایج به دست آمده نشان داد که روش کاهش سطح با ضرایب بهینه، دقت بالاتری نسبت به روش کاهش سطح با ضرایب معمول دارد. استفاده از پارامترهای بهینه، مقدار خطا را به میزان ۶۸/۴۱ درصد کاهش می‌دهد (۱۴). هدف از این پژوهش تعیین ضرایب X و K در روش



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز گرمرود  
Figure 1. Location of Garmrood basin

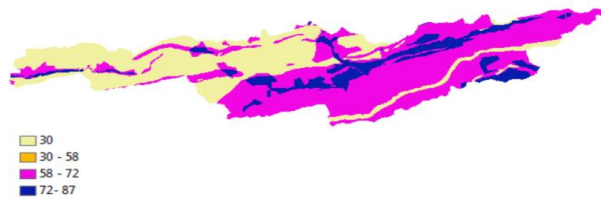
نرم‌افزار ARC-GIS توزیع مکانی بارش برای هر زیر حوزه برآورد گردید.

#### تهیه نقشه CN

یکی از داده‌های مورد نیاز، نقشه CN و یا شماره منحنی می‌باشد. جهت تعیین آن، نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک از اداره‌ی منابع طبیعی استان مازندران تهیه و مرز حوزه‌ی آبریز در این نقشه رقومی شد و با توجه به عمق و بافت و گروه‌های هیدرولوژیکی وارد نرم‌افزار GIS شد (۲۵). شکل ۲ نقشه CN حوزه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

#### توزیع زمانی و مکانی بارش

در این پژوهش باتوجه به سیلاب مخرب مرداد ۱۳۷۸ که خسارات جانی و مالی بسیاری برجای گذاشت، برای دوره واسنجی از تاریخ ۲۶ تیر الی ۹ مرداد سال ۱۳۷۸ و برای دوره صحت سنجی از داده‌های بارندگی مربوط به سیلاب در تاریخ ۱۳ الی ۲۵ تیر سال ۱۳۷۸ استفاده شده است. داده‌های بارندگی روزانه ایستگاه‌های باران سنجی موجود در حوزه در روزهای وقوع سیلاب استخراج شد. سپس با استفاده از



شکل ۲- نقشه CN منطقه  
Figure 2. CN map of the area

پیش‌بینی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه‌ها در مقابل توسعه شهری، کاهش خسارت سیلاب‌ها و ... قابل استفاده است (۲۲). در این پژوهش از نسخه 4.1 این نرم‌افزار استفاده شد. شبیه‌سازی و محاسبه هیدروگراف در حوزه نیازمند معرفی چهار مدل است. حوضه مورد نظر به ۲۱ زیر حوزه اصلی و ۱۸ آبراهه اصلی تقسیم شد. پارامترهای هر شاخه آبراهه به منظور افزایش دقت باید واسنجی شود (۲۴). اطلاعات دینامیکی بارش ایستگاه‌های باران سنجی و ایستگاه‌های هیدرومتری در مؤلفه داده‌های سری زمانی حوزه وارد می‌شود و سپس در مدل هواشناسی به زیر حوزه‌های مربوطه تخصیص داده می‌شود. در بخش شاخص‌های کنترل، محدوده زمانی شبیه‌سازی و گام زمانی تعیین می‌شود. اطلاعات ورودی در مدل حوزه با خصوصیات فیزیکی حوزه مرتبط است. پس از معرفی زیر حوزه، خصوصیات زیر حوزه، شامل مساحت زیر حوزه، روش تعیین تلفات، دبی پایه و تبدیل بارش به رواناب حوزه، تعیین شد. در این پژوهش برای محاسبه نفوذ حوزه از روش شماره منحنی (CN)، برای تبدیل بارش به رواناب از روش هیدروگراف واحد، و برای روندیابی رودخانه از روش ماسکینگام استفاده شد.

#### اجزای مدل HEC-HMS

برای اجرای مدل بارش رواناب نیاز به پارامترهایی از جمله، تلفات اولیه، تبدیل بارش مازاد به جریان سطحی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل است که در ادامه روش محاسبه‌ی هر یک ارائه شده‌است:

#### مدل تلفات

در مدل HEC-HMS برای تلفات رواناب حوزه از روش SCS استفاده شده است که معادلات آن در روابط ۶ تا ۸ ارائه شده‌است (۵).

$$P_e = \frac{(p - I_a)^2}{p - I_a + S} \quad (6)$$

$$I_a = a \cdot S \quad (7)$$

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (8)$$

در این روابط،  $P_e$ ، ارتفاع بارش مؤثر رواناب (mm)، ارتفاع بارندگی (mm)،  $S$  حداکثر پتانسیل ذخیره حوزه (mm)، CN شماره منحنی متوسط وزنی حوزه،  $I_a$  تلفات اولیه (mm) و  $a$ ، ضریبی است که مقدار آن ۰/۲ می‌باشد.

#### روش روندیابی ماسکینگام

روش‌های مختلفی برای روندیابی جریان آبراهه‌ها وجود دارد. کهدر روش ماسکینگام از یک تقریب ساده تفاضل محدود از معادله پیوستگی استفاده می‌شود که معادلات آن به صورت روابط ۱ تا ۴ ارائه شده است (۱۷).

$$Q_t = C_1 I(t) + C_2 I(t-1) + C_3 Q(t-1) \quad (1)$$

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (2)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (3)$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (4)$$

در این رابطه،  $K$  و  $X$  پارامترهای روندیابی و  $\Delta t$  گام زمانی است. از نظر فیزیکی،  $K$  معادل زمان پیمایش قطعه رودخانه در نظر گرفته می‌شود و  $X$  ضریب وزنی است که از دید تئوری می‌تواند بین صفر تا ۱ باشد (۱۹). هرچه مقدار  $\Delta t$  کوچکتر باشد، نتایج دقیق‌تر خواهند بود. این مدل مؤلفه‌های هیدروگراف خروجی را با داشتن مؤلفه‌های  $K$  و  $X$ ، هیدروگراف ورودی و شرایط اولیه محاسبه می‌کند. با توجه به این که  $K$  ضریبی از زمان تمرکز است و مقدار آن از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$K = \frac{L}{V} \quad (5)$$

که در این رابطه،  $L$  طول آبراهه و  $V$  سرعت موج در آبراهه می‌باشد.

پارامتر ضریب  $X$  در روش ماسکینگام بدون بعد بوده و درجه اهمیت دبی ورودی و خروجی  $I$  و  $O$  در تعیین ظرفیت ذخیره رودخانه را نشان می‌دهد و مقدار آن حداقل صفر و حداکثر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (۴).

#### مدل HEC-HMS

مدل هیدرولوژیکی HEC-HMS بر اساس شبیه‌سازی بارندگی رواناب در حوزه‌ها با استفاده از قابلیت‌های گرافیکی بسیار قوی برای مطالعات آب رسانی، هیدرولوژی سیلاب‌ها،

### مدل انتقال

جهت تبدیل بارش مزاد به رواناب از روش هیدروگراف واحد SCS استفاده شده که معادلات آن در روابط ۹ تا ۱۲ ارائه شده است (۷).

$$U_p = 2.08 \frac{A}{T_p} \quad (9)$$

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + T_{lag} \quad (10)$$

$$T_{lag} = \frac{L^{0.5}(S+1)^{0.7}}{1900W_s^{0.5}} \quad (11)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (12)$$

در این روابط،  $U_p$  دبی حداکثر برحسب  $(\frac{m^3}{s})$ ،  $A$  مساحت حوزه  $(km^2)$ ،  $T_p$  زمان تمرکز برحسب  $(hr)$ ،  $T_{lag}$  زمان تاخیر برحسب  $(hr)$ ،  $\Delta t$  زمان تداوم  $(hr)$ ،  $L$  طول رودخانه اصلی  $(ft)$ ،  $W_s$  شیب متوسط حوزه بر حسب درصد،  $S$  نمایه نگهداشت آب در حوزه می‌باشد.

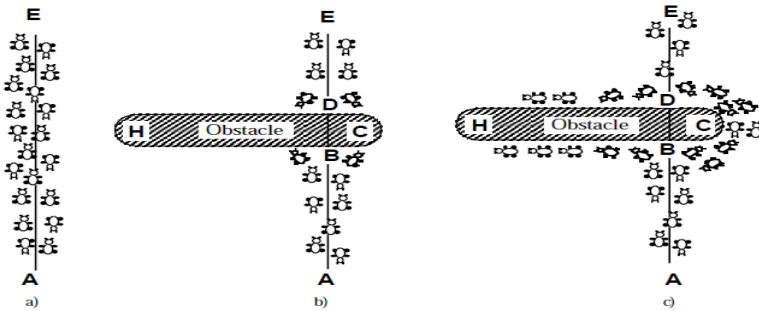
واسنجی فرایندی است که مقادیر پارامترهای معرفی شده به مدل، با هدف دسترسی به نتایج همگون با داده‌های واقعی و طبیعی تصحیح می‌شود (۲۰). در این مرحله پارامترهای مدل با یک گروه از داده‌ها، واسنجی می‌گردد. سپس اعتبارسنجی مدل از طریق اجرای مدل با پارامترهای بهینه شده برای گروه

دوم داده‌ها انجام و نهایتاً هیدروگراف شبیه‌سازی با هیدروگراف مشاهده شده مقایسه می‌شود.

### الگوریتم جامعه مورچگان

الگوریتم جامعه مورچگان برای اولین بار توسط دوریگو و همکاران به عنوان یک راه حل چند عامله برای مسائل بهینه‌سازی مانند فروشنده دوره‌گرد ارائه شد. عامل هوشمند موجودی است که از طریق حس‌گرها قادر به درک پیرامون خود بوده و از طریق تأثیر گذارنده‌ها می‌تواند روی محیط تأثیر بگذارد (۸). مورچه‌ها با آن که فاقد قدرت بینایی‌اند، می‌توانند کوتاه‌ترین مسیر از منبع تغذیه تا لانه خویش را با استفاده از مواد شیمیایی که در هنگام حرکت از خود بر جای می‌گذارند و به «فرمون» موسوم‌اند پیدا کنند. مورچه‌ها هنگام راه رفتن از خود ردی از ماده شیمیایی فرمون بجای می‌گذارند، البته این ماده به‌زودی تخریب می‌شود ولی در کوتاه مدت به عنوان رد مورچه بر سطح زمین باقی می‌ماند (۱۳).

یک رفتار پایه‌ای ساده در مورچه‌ها وجود دارد. آنها هنگام انتخاب بین دو مسیر به صورت آماری مسیری را انتخاب می‌کنند که فرمون بیشتری داشته باشد یا به عبارت دیگر مورچه‌های بیشتری قبلاً از آن عبور کرده باشند. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص شده مورچه‌های روی مسیر AE در حرکت‌اند (در دو جهت مخالف) اگر در مسیر مورچه‌ها مانعی قرار گیرد مورچه‌ها دو راه برای انتخاب کردن دارند. اولین مورچه از A می‌آید و به B می‌رسد، در مسیر هیچ فرمونی نمی‌بیند بنابراین برای مسیر چپ و راست احتمال یکسان می‌دهد و به‌طور تصادفی و احتمالاتی مسیر BHD را انتخاب می‌کند.



شکل ۳- شمای کلی حل مسئله در الگوریتم جامعه مورچگان  
Figure 3. A general problem solving scheme in the ant colony algorithm

چند احتمال انتخاب مسیر بر فرمون توسط مورچه‌ها بیشتر است، ولی این کماکان احتمال است و قطعیت نیست. یعنی اگر مسیر BCD پرفرومون‌تر از BHD باشد به هیچ عنوان نمی‌شود نتیجه گرفت که همه مورچه‌ها از مسیر BCD عبور خواهند کرد، بلکه تنها می‌توان گفت که مثلاً ۹۰٪ مورچه‌ها از مسیر کوتاه‌تر عبور خواهند کرد (۲۳). با توجه به سرعت و دقت این الگوریتم و مطالب ذکر شده در مرور منابع از این الگوریتم به‌عنوان بهینه‌ساز در مدل تهیه شده در محیط MATLAB مورد استفاده قرار گرفت.

اولین مورچه‌ای که مورچه اول را دنبال می‌کند زودتر از مورچه اولی که از مسیر BCD رفته به مقصد می‌رسد. مورچه‌ها در حال برگشت و به مرور زمان یک اثر بیشتر فرمون را روی BCD حس می‌کنند و آنرا به‌طور احتمالی و تصادفی (نه حتماً و قطعاً) انتخاب می‌کنند. در نهایت مسیر BCD به عنوان مسیر کوتاه‌تر برگزیده می‌شود. در حقیقت چون طول مسیر BCD کوتاه‌تر است زمان رفت و برگشت از آن هم کمتر می‌شود و در نتیجه مورچه‌های بیشتری نسبت به مسیر دیگر آن را طی خواهند کرد چون فرمون بیشتری در آن وجود دارد (۲۱). نکته بسیار با اهمیت این است که هر

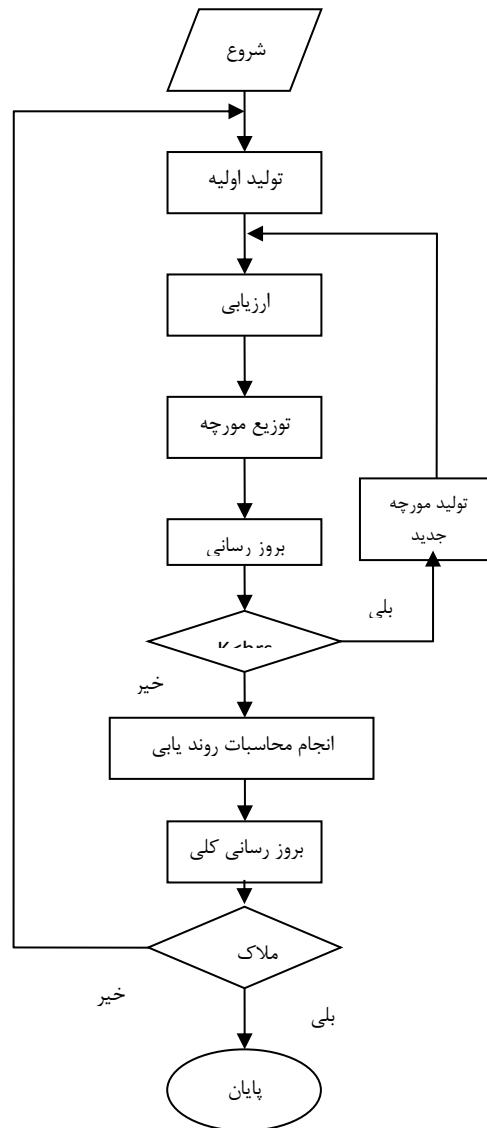
### روش کلی کار

در این پژوهش از هیدروگراف خروجی از هر زیر حوزه که توسط مدل HEC-HMS به دست آمده است به عنوان ورودی در برنامه روندیابی ماسکینگام که در محیط برنامه نویسی MATLAB تهیه شد قرار می گیرد، از الگوریتم جامعه مورچگان به عنوان مدل بهینه ساز برای بهینه سازی ضرایب K و X مربوط به روش ماسکینگام در روندیابی رودخانه، به کار گرفته شد. متغییر تصمیم در این پژوهش ضرایب K و X مربوط به هریک از رودخانه ها در مجموع ۳۶ متغیر می باشد. مقدار مجذور میانگین مربعات خطای هیدروگراف

واقعی و محاسباتی به عنوان تابع هدف مورد بررسی قرار گرفت. تابع هدف به صورت رابطه ۱۳ می باشد. شکل ۴ نمودار گردش روش کار را نشان می دهد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - Q_{sim})^2}{n-1}} \quad (13)$$

که در این رابطه  $Q_{obs}$  دبی مشاهده ای و  $Q_{sim}$  دبی محاسباتی بر حسب  $(\frac{m^3}{s})$  می باشد.

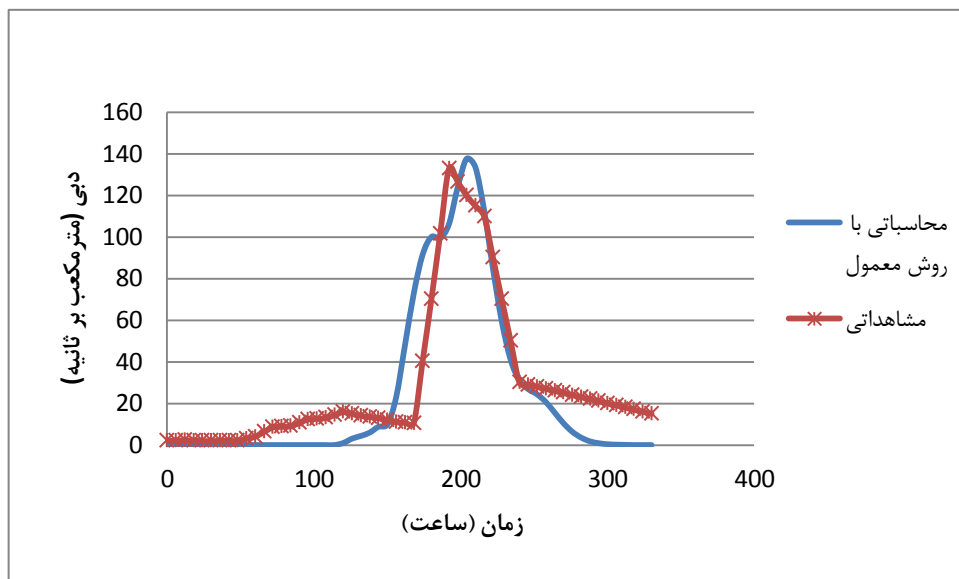


شکل ۴- نمودار گردش مدل شبیه سازی و بهینه سازی  
Figure 4. The flowchart of simulation and optimization model

### نتایج و بحث

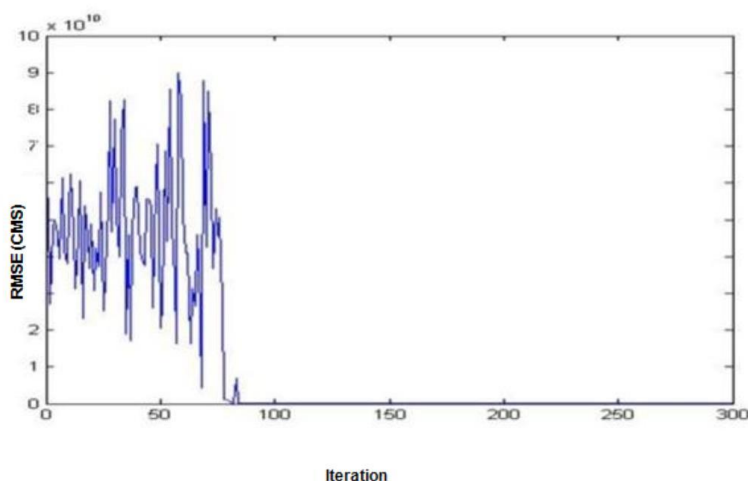
شکل ۵ هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب K و X به روش معمول را نشان می دهد. در این پژوهش مقدار

مجذور میانگین مربعات خطای بین داده های مشاهداتی و محاسباتی به روش معمول برابر با ۱۷/۰۲ می باشد.



شکل ۵- هیدروگراف خروجی محاسباتی و مشاهداتی با ضرایب معمول از تاریخ ۲۶ تیر الی ۹ مرداد ۱۳۷۸  
 Figure 5. Computational output hydrograph with common coefficients and observational hydrograph from 26 July to 9 August 1999

شکل ۶ نمودار همگرایی تابع هدف را نشان می‌دهد.



شکل ۶- نمودار همگرایی تابع هدف در دوره واسنجی  
 Figure 6. Convergence graph of the objective function in calibration period

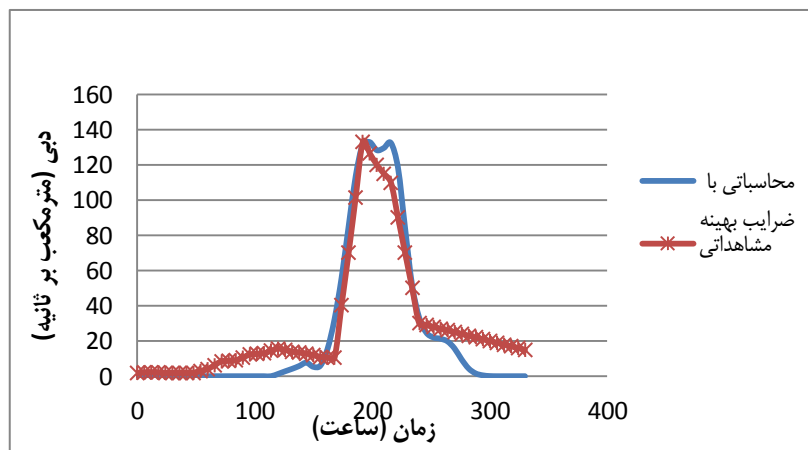
تهیه شد، ارائه شده است. در شکل ۷ هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب K و X بهینه را نشان می‌دهد.

در جدول ۱ مقادیر بهینه پارامترهای ضرایب K و X مربوط به زیرشاخه‌های رودخانه که از خروجی برنامه شبیه‌ساز- بهینه‌ساز که در محیط برنامه‌نویسی MATLAB

جدول ۱- ضرایب بهینه روش ماسکینگام

Table 1. Optimal coefficients of Muskingum method

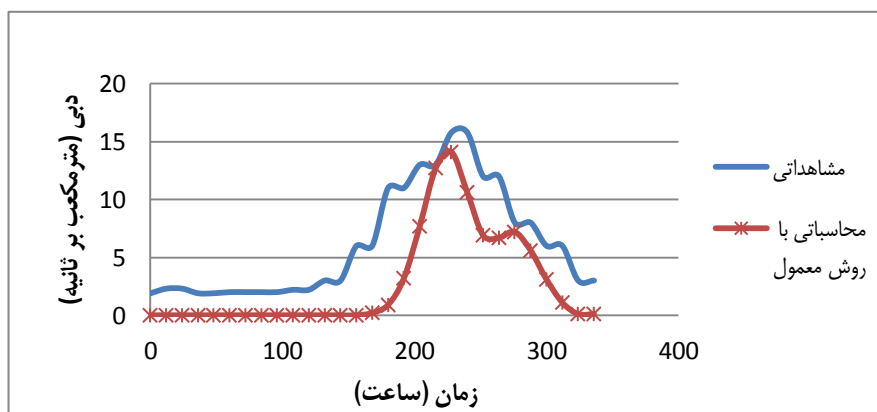
K(hr)	X	زیر حوزه	K(hr)	X	زیر حوزه
۵/۰۲۴۶	-/۵۰۰۰۰	R۱۰	۴/۵۴۴۹	۰/۵۰۰۰۰	R۱
۵/۰۲۴۶	-/۵۰۰۰۰	R۱۱	۷/۵۵۵۵	۰/۴۹۴۸۷	R۲
۴/۹۶۷۴	-/۳۳۳۳۰	R۱۲	۷/۴۹۷۲	۰/۴۹۲۶۹	R۳
۳/۳۴۹۹	-/۳۳۳۳۰	R۱۳	۷/۳۹۳۷	۰/۴۹۶۹۳	R۴
۴/۹۲۴۴	-/۲۲۲۲۰	R۱۴	۷/۵۱۱۲	۰/۵۰۰۰۰	R۵
۴/۹۰۲۲	-/۳۳۳۳۰	R۱۵	۷/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰۰	R۶
۶/۸۰۴۴	-/۵۰۰۰۰	R۱۶	۷/۵۰۰۰	۰/۵۰۰۰۰	R۷
۴/۵۶۵۸	-/۵۰۰۰۰	R۱۷	۳/۳۳۸۲	۰/۳۲۶۶۷	R۸
۴/۵۵۵۷	-/۵۰۰۰۰	R۱۸	۳/۳۳۳۳	۰/۳۳۳۳۰	R۹



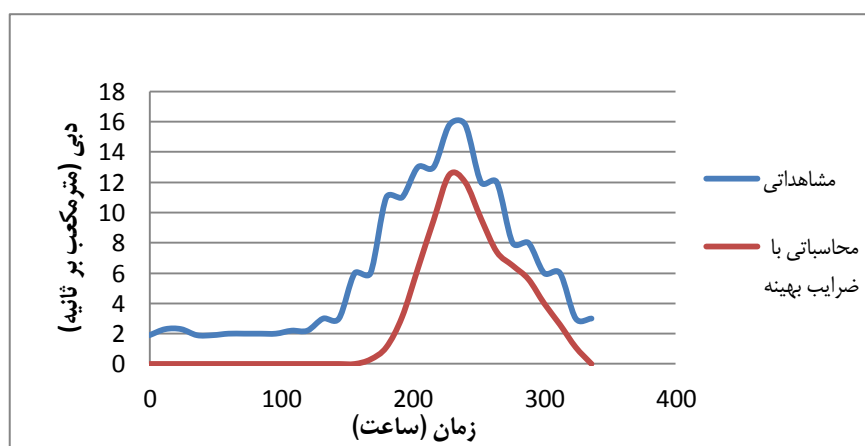
شکل ۷- هیدروگراف خروجی مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب بهینه در تاریخ ۲۶ تیر الی ۹ مرداد ۱۳۷۸  
Figure 7. Observational and computational output hydrograph with optimal coefficients from 26 July to 9 August 1999

مشاهداتی سیلابی که در بازه زمانی ۱۳ الی ۲۵ تیر سال ۱۳۷۸ رخ داده، استفاده شده است، در شکل‌های ۸ و ۹ به ترتیب هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب K و X به روش معمول و هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب K و X بهینه مشاهده می‌شود.

مقدار تابع هدف برای حالت روندیابی رودخانه با ضرایب K و X بهینه برابر با ۱۲/۱۷ می‌باشد. نتایج نشان داد ضرایب بهینه مقدار تابع هدف را به میزان ۲۸٪ کاهش داده و همچنین پیش‌بینی مقدار و زمان وقوع دبی اوج در حالت محاسبه با ضرایب بهینه دقت بالاتری نسبت به ضرایب معمول دارد. برای صحت‌سنجی مدل از هیدروگراف



شکل ۸- هیدروگراف خروجی مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب معمول در دوره صحت‌سنجی از تاریخ ۱۳ الی ۲۵ تیر ۱۳۷۸  
Figure 8. Observational and computational output hydrograph with regular coefficients in the verification period from 13th to 25th July 1999



شکل ۹- هیدروگراف خروجی مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب بهینه در دوره صحت سنجی از تاریخ ۱۳ الی ۲۵ تیر ۱۳۷۸  
Figure 9. Observational and computational output hydrograph with optimal coefficients during verification from 13<sup>th</sup> to 25<sup>th</sup> July 1999

پژوهش می‌توان گفت که محاسبات انجام شده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان داد، استفاده از ضرایب بهینه برای این روش روندیابی تأثیر به‌سزایی در کاهش مقدار تابع هدف داشته و لذا می‌توان از این روش برای سایر حوزه‌ها نیز استفاده نمود.

نتایج نشان داد مقدار تابع هدف در دوره صحت‌سنجی با محاسبه ضرایب  $K$  و  $X$  به روش معمول و بهینه به‌ترتیب برابر با  $۳/۹$  و  $۴/۰۷$  می‌باشد. بنابراین استفاده از ضرایب بهینه‌سازی شده می‌تواند مقدار تابع هدف را به میزان  $۴/۲\%$  کاهش دهد. بنابراین به عنوان نتیجه‌گیری کلی از این

#### منابع

- Abolfatahi, S., M. Heidari and S.M. Kashefipour. 2016. Evaluation of smart metering in submerged slide valve. Proceedings of the 15<sup>th</sup> Annual International Conference of Hydraulic, Ghazvin, Iran, (In Persian).
- Akbarifard, S., M.R. Madadi and M. Aliannejad. 2016. Parameters Estimation of the Nonlinear Muskingum Flood-Routing Model Using Wolf Search Algorithm (WSA) (Case Study: Kardeh River), Applied Research in Irrigation and Drainage Structures Engineering, 95-112 pp (In Persian).
- Afshar, A. and M.J. Emami. 2012. Optimal design of stilling basin with SWAT and ACO, Harz Mountains, Iran. Annual National Conference of the Dezfol Water Structure, 111-119 pp (In Persian).
- Alizadeh, A. 2008. Principles of Applied Hydrology. 25<sup>nd</sup> edn., Imam Reza University press, Mashhad, 630 pp (In Persian).
- Basharati, T. 2007. Spatial Prioritization of Flood plain in Rudak Catchment Using HEC-HMS Model. M.Sc. Thesis, University of Sari, 182 pp (In Persian).
- Behzadian, K. 2010. Developing methods for designing optimal biopsy samples for calibration water distribution networks using multi criteria decision, Ph.D. Thesis, Amirkabir University, Tehran, Tehran, Iran.
- De Silva, M. Weerakoon and S. Herath. 2014. Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC-HMS: Case Study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. Journal of Hydrologic Engineering, 19: 800-806.
- Dorigo, M. 1991. Ant colony Optimization, New Optimization Techniques in Engineering, 101-116 pp.
- Dorigo, M. 1992. Optimization, Learning and Natural algorithm. Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano, Milan Italy, 235 pp.
- Eckhardt, K., N. Fohrer and H.G. Frede. 2005. Automatic model calibration. Wiley Inter Science, 12: 651-658.
- Ensaniat, N. 2012. Daily runoff simulation using the PSO algorithm in catchment model optimization. M.sc. Thesis. Azad University. Tehran, 130 pp (In Persian).
- Kamali, B. and J. Mousavi. 2010. Automatic Calibration of Hydrologic Event-Based Model Using PSO Meta-Heuristic Algorithm, Fifth National Congress on Civil Engineering (In Persian).
- Masomi, M. and H. Montazeri. 2013. Optimization of Pressurized Irrigation System with ACO. Proceedings of the 13<sup>th</sup> Annual International Conference of Hydraulic, Tabriz, Iran (In Persian).

14. Najafi, I. and A. Emadi. 2015. Optimization of area-reduction method parameters for sediment distribution in dam reservoirs using the Ants Colony algorithm (Case study: Karaj dam), Iran-Water Resources Research, 17: 1-9 (In Persian).
15. Qaderi, K., J. Samani and H. Eslami. 2006. Auto Calibration of a Rainfall-Runoff Model Based on SCE Method, Iran-Water Resources Research, 2(2): 39-52 (In Persian).
16. Qodsipour, A. 2009. Analytic Hierarchy Process, Amirkabir University, Tehran, 360pp (In Persian).
17. Refsgaard, J.C. and J. Knudsen. 1996. Operational Validation and Intercomparison of Different Types of Hydrological Models. Water Resources Research, 32: 2189-2202.
18. Rezvani, H. 1998. Study the Effective Factors in Flood Production and Evaluation Control Factors. Forest and Rangeland, 23: 25-36 (In Persian).
19. Roushan, H., G. Vahabzadeh, K. Solaimani and R. Farhadi. 2013. Simulation of River Hydraulics Behavior Using HEC-RAS Model in GIS Environment (Case Study: Beshar River, Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad Province). Journal of Watershed Management, 7: 70-84 (In Persian).
20. Sabzevari, T., R. Ardeanian, A. Shamsaei and A. Talebi. 2009. Hydrograph Estimation of Ungaged Catchments using GIS & HEC-HMS. Journal of Water Engineering, 2: 1-11 (In Persian).
21. Sepehri, M., M. Rahimimoghadam, M., Ant Colony Optimization and its Applications, Menhaj press, Tehran, Iran, 160 pp (In Persian).
22. Shokri, S., A.A. Behnia, F. Radmanesh and A.M. Akhondi. 2012. Watershed Flood Hydrograph Estimation Using HEC-HMS and Geographic Information System (Case Study: Idanak Watershed). Journal of Watershed Management, 5: 63-80 (In Persian).
23. Socha, K. and M. Dorigo. 2008. Ant Colony optimization for continuous domains, European Journal of Operational Research, 1155-1173 pp., Brussels, Belgium.
24. United States Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (USACE-HEC). (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual. Davis, Calif. 124 pp.
25. Zhan, X. and H.M. Lang. 2004. ArcCN-Runoff: an ArcGIS tool for Generating Curve Number and Runoff Maps. Environmental Modelling & Software, 19: 875-879.

## Calibration of Muskingum Method using Ant Colony Algorithm (Case Study: Garmrood Basin)

Iman Najafi<sup>1</sup>, Alireza Emadi<sup>2</sup> and Mohammad Ali Gholami-Sefidkuhi<sup>3</sup>

- 
- 1- PhD Student in Structural Engineering, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University  
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding author: emadia355@yahoo.com)  
3- Associate Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: November 15, 2017

Accepted: January 21, 2018

---

### Abstract

River and reservoir routing is very important in prediction of flood outflow from the catchment area. Therefore, accuracy of this calculation has close relationship with the increasing of accuracy in the outflow from the catchment area. The Muskingum method is a river routing methods, K and X coefficients are determined according to the type of catchment area and the river. But in most watersheds, these coefficients are considered approximately due to lack of parameters. Therefore, the aim of this study is to calibrate the Muskingum method in the Garmrood basin by determines K and X coefficients. Therefore At first, HEC-HMS software was used to calculate the flood for each sub-basin and then river routing was calculated using a computerized model. Aco algorithm is used in order to calibrate total of 36 decision variables (including 18 variables for K and 18 variables for X). Root Mean Square Error between computed and observed hydrograph data were taken as objective function. The results showed that the optimal coefficients reduced the value of the objective function about 28% and 4.2% respectively in calibration and verification periods.

**Keywords:** Ant colony algorithm, Flood routing, Garmrood basin, HEC-HMS model, Muskingumethod