دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

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

ایمان نجفی[۱]، علیرضا عمادی[۲] و محمد علی غلامی‌سفیدکوهی[۳]

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 مسوول: 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: ۱ تا ۱۰

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 همه‌ی پارامترها، این ضرایب به‌صورت تقریبی در نظر گرفته می‌شوند لذا هدف از این پژوهش واسنجی روش ماسکینگام در حوزه گرمرود و تعیین ضرایب K و X بهینه می‌باشد. به‌این‌منظور ابتدا حوزه آبخیز گرمرود 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. به‌منظور واسنجی از روش بهینه‌سازی الگوریتم جامعه مورچگان استفاده شد، به‌صورتی 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 به‌ترتیب مقدار تابع هدف را ۲۸٪ و ٤/۲٪ کاهش می‌دهد.

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

مقدمه

سیلاب‌ها یکی از بلایای 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 پیش بینی، تشکیل می‌دهند (۶). به طور کلی، هدف از واسنجی افزایش دقت پیش بینی می‌باشد (۱۵). کمالی و موسوی مدل مفهومی HEC-HMS رابا استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO[۱] 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 بهینهٔ فازی و الگوریتم PSO، تحلیل شد. نتایج نشان داد رویکرد چند هدفهٔ 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 بررسی قرار دادند. برای بهینه‌سازی اندازه و مکان و به‌طور کلی معماری از الگوریتم جامعه مورچگان و برای شبیه‌سازی حوزه های آبخیز از مدل SWAT بهره گرفتند. کارآیی 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 حوزه های 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[۲]، 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[۳] 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[۴] توانایی بهینه‌سازی مناسبی را در این راستا دارد (۱۳). نجفی و عمادی براساس

1- Particle swarm optimization
2- Genetic Algorithm
3- Shuffled Complex Evolution
4- Ant Colony Optimization

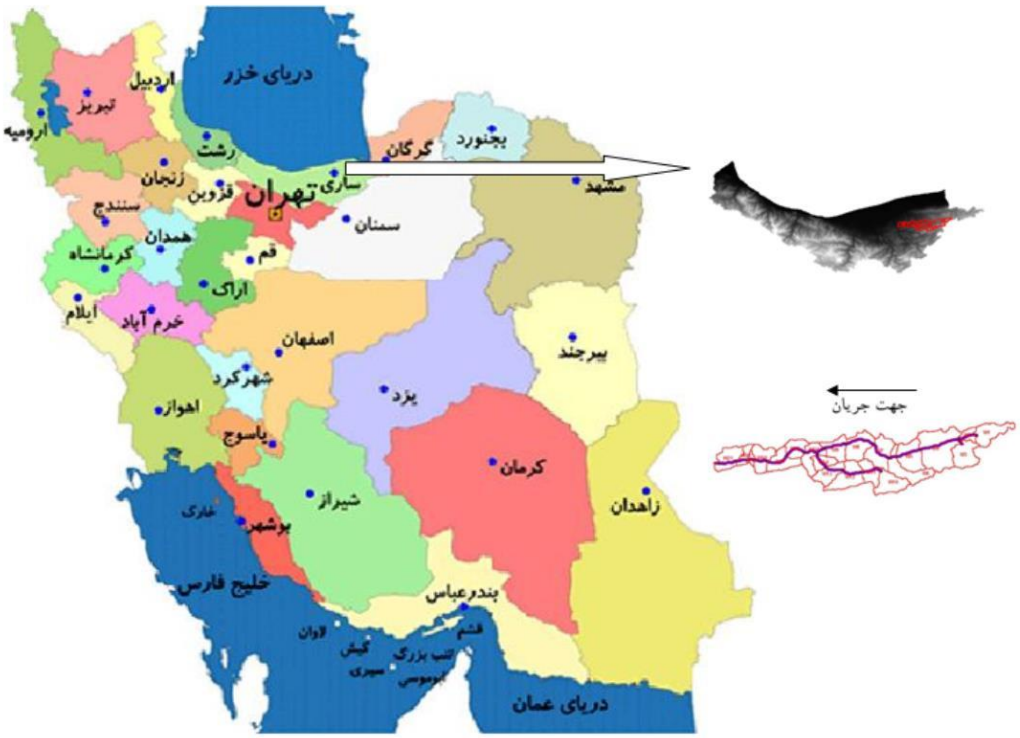
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]

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

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

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



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

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

تهیه نقشه CN

یکی از داده‌های مورد نیاز، نقشه CN ویا 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]

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

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).

$$Q_t = C_1 I(t) + C_2 I(t-1) + C_3 Q(t-1) \quad (۱)$$

$$C_1 = \frac{\Delta t - 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (۲)$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + 2KX}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (۳)$$

$$C_3 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{2K(1-X) + \Delta t} \quad (۴)$$

در این رابطه،K و X پارامترهای روندیابی و Δtگام زمانی است. از نظر فیزیکی، K معادل زمان پیمایش قطعهٔ رودخانه در نظر گرفته می‌شود و X ضریب وزنی است که از دید تئوری می‌تواند بین صفر تا ۱ باشد (۱۹). هرچه مقدار Δt 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 این‌که K ضریبی از زمان تمرکز است و مقدار آن از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$K = \frac{L}{V} \quad (۵)$$

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، پیش‌بینی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه‌ها در مقابل توسعهٔ شهری، کاهش خسارت سیلاب‌ها و ... قابل استفاده است (۲۲). در این پژوهش از نسخهٔ 4.1 این نرم‌افزار استفاده شد. شبیه‌سازی و محاسبهٔ هیدروگراف در حوزه نیازمند معرفی چهار مدل است. حوضهٔ 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 مؤلفهٔ داده‌های سری زمانی حوزه وارد می‌شود و سپس در مدل هواشناسی به زیر حوزه‌های مربوطه تخصیص داده می‌شود. در بخش شاخص‌های کنترل، محدودهٔ 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 محاسبهٔ نفوذ حوزه از روش شمارهٔ 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 ازجمله، 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-HMSبرای تلفات رواناب حوزه از روش SCS استفاده شده است که معادلات آن در روابط ۶ تا ۸ ارائه شده‌است (۵).

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (۶)$$

$$I_a = a.S \quad (۷)$$

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (۸)$$

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]

مدل انتقال

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

$$U_p = 2.08\frac{A}{T_p} \quad (۹)$$

$$T_{\mathrm{p}} = \frac{\Delta \mathrm{t}}{2} + \mathrm{T_{lag}} \quad (۱۰)$$

$$T_{\mathrm{lag}} = \frac{\mathrm{L}^{0.5}(\mathrm{S}+1)^{0.7}}{1900\mathrm{W_s}^{0.5}} \quad (۱۱)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (۱۲)$$

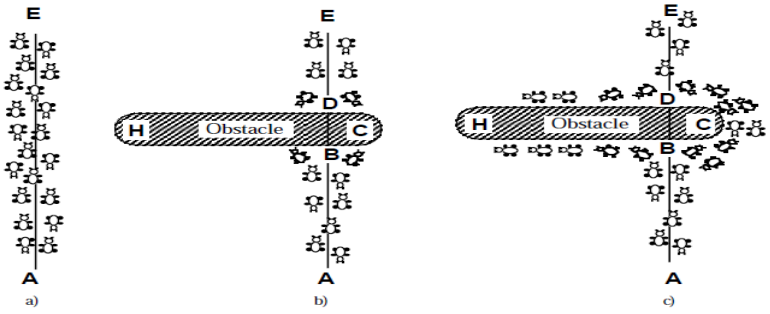
در این روابط، U_p دبی حداکثر برحسب $\left(\frac{m^3}{\mathrm{s}}\right)$، A مساحت حوزه (km^2)، T_{p} زمان تمرکز برحسب (hr)، T_{lag} زمان تاخیر برحسب (hr)، $\Delta \mathrm{t}$ زمان تداوم (hr)، L طول رودخانه اصلی (ft)، $\mathrm{W_s}$ شیب متوسط حوزه بر حسب درصد، S نمایه نگهداشت آب در حوزه می‌باشد.

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 آن‌که 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 «فرومون» موسوم‌اند پیدا کنند. مورچه‌ها هنگام راه رفتن از خود ردی از ماده شیمیایی فرومون بجای می‌گذارند، البته این ماده به‌زودی تبخیر 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 فرومونی 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

اولین مورچه‌ای که مورچه اول را دنبال می‌کند زودتر از مورچه اولی که از مسیـــر BCD رفته به مقصد می‌رسد. مورچه‌ها در حال برگشت و به مرور زمان یک اثر بیشتر فرمـــون را روی BCD حس می‌کنند و آنرا به طور 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 فرومون بیشتری در آن وجود دارد (۲۱). نکته بسیار با اهمیت این است که هر چند احتمال انتخاب مسیر بر فرومـون 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 بهینه ساز در مدل تهیه شده در محیط MATLAB مورد استفاده قرار گرفت.

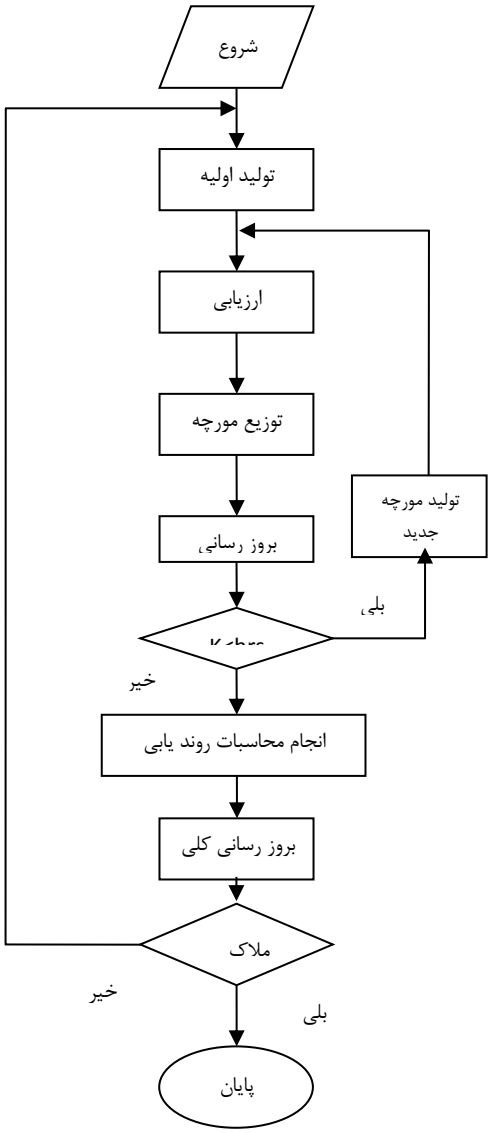
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]

روش کلی کار

در این پژوهش از هیدروگراف خروجی از هر زیر حوزه که توسط مدل HEC-HMS به‌دست آمده‌است به عنوان ورودی در برنامه روندیابی ماسکینگام که در محیط برنامه نویسی MATLAB تهیه شد قرار می‌گیرد، از الگوریتم جامعه مورچگان به عنوان مدل بهینه‌ساز برای بهینه‌سازی ضرایب K و X مربوط به روش ماسکینگام در روندیابی رودخانه، به‌کار گرفته شد. متغییر تصمیم در این پژوهش ضرایب K و X مربوط به هریک از رودخانه‌ها در مجموع ۳۶ متغیر می‌باشد.مقدار مجذور میانگین مربعات خطای هیدروگراف واقعی و محاسباتی به عنوان تابع هدف مورد بررسی قرار گرفت. تابع هدف به‌صورت رابطه ۱۳می‌باشد. شکل ۴نمودار گردشی روش‌کار را نشان می‌دهد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{n}(Q_{obs} - Q_{sim})^2}{n-1}} \qquad (۱۳)$$

که در این رابطه Q_{obs} دبی مشاهده‌ای و Q_{sim} دبی محاسباتی برحسب $\left(\frac{m^3}{s}\right)$ می‌باشد.

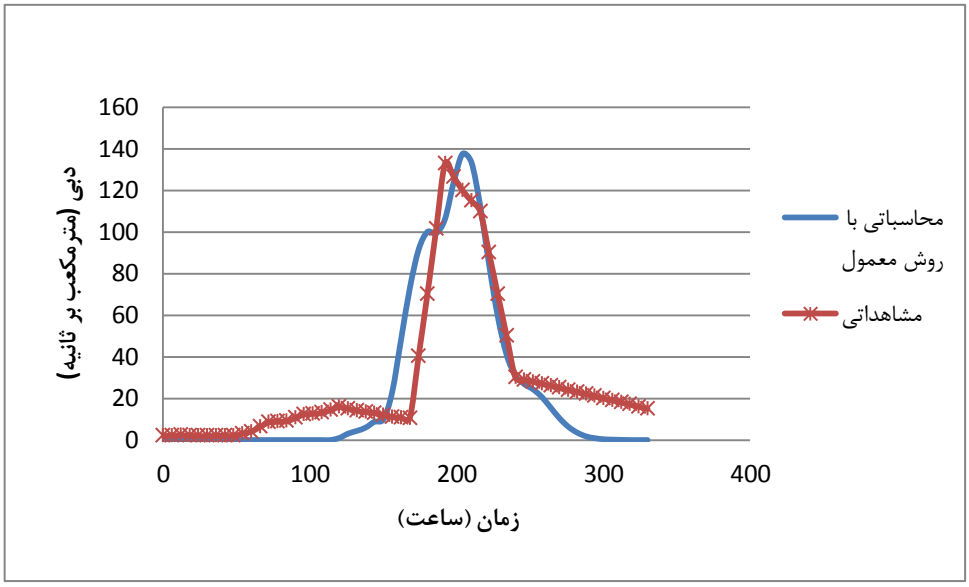


شکل ۴- نمودار گردشی مدل شبیه‌سازی و بهینه‌سازی
Figure 4. The flowchart of simulation and optimization model

نتایج و بحث

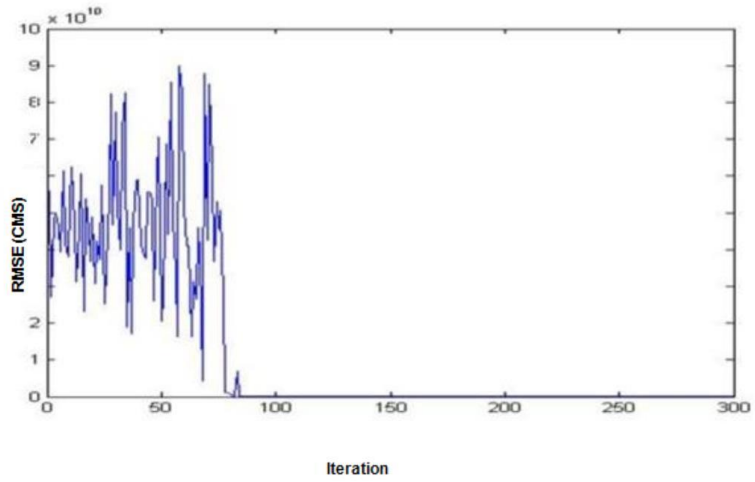
شکل ۵ هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب K و X به روش معمول را نشان می‌دهد. در این پژوهش مقدار مجذور میانگین مربعات خطای بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی به روش معمول برابر با ۱۷/۰۲ می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]



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 نمودارهمگرایی 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

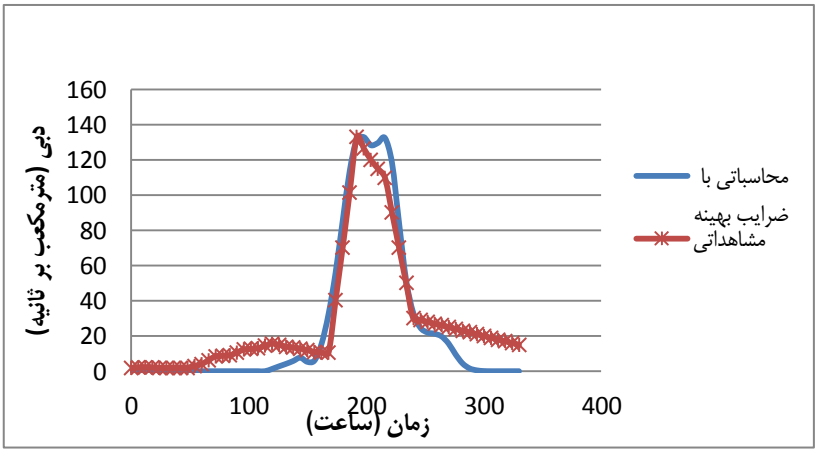
در جدول ۱ مقادیر بهینه پارامترهای ضرایب K و Xمربوط به زیرشاخه‌های رودخانه که از خروجی برنامه شبیه‌ساز- بهینه‌ساز که در محیط برنامه‌نویسی MATLAB تهیه شد، ارائه شده است. در شکل ۷ هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب K و X بهینه را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]

جدول ۱- ضرایب بهینه روش ماسکینگام

Table 1. Optimal coefficients of Muskingum method

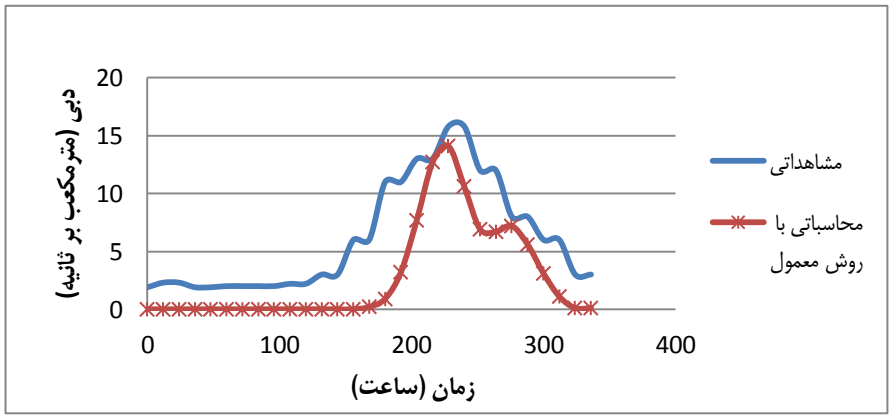
زیر حوزه	X	K(hr)	زیر حوزه	X	K(hr)
R۱	۰/۵۰۰۰۰	۴/۵۴۴۹	R۱۰	۰/۵۰۰۰۰	۵/۰۲۴۶
R۲	۰/۴۹۴۸۷	۷/۵۵۵۵	R۱۱	۰/۵۰۰۰۰	۵/۰۲۴۶
R۳	۰/۴۹۲۶۹	۷/۴۹۷۲	R۱۲	۰/۳۳۳۳۰	۴/۹۶۷۴
R۴	۰/۴۹۶۹۳	۷/۳۹۳۷	R۱۳	۰/۳۳۳۳۰	۳/۳۴۹۹
R۵	۰/۵۰۰۰۰	۷/۵۱۱۲	R۱۴	۰/۲۲۲۲۰	۴/۹۲۴۴
R۶	۰/۵۰۰۰۰	۷/۵۰۰۰	R۱۵	۰/۳۳۴۹۰	۴/۹۰۲۲
R۷	۰/۵۰۰۰۰	۷/۵۰۰۰	R۱۶	۰/۵۰۰۰۰	۶/۸۰۴۴
R۸	۰/۳۲۶۶۷	۳/۳۳۸۲	R۱۷	۰/۵۰۰۰۰	۴/۵۶۵۸
R۹	۰/۳۳۳۳۰	۳/۳۳۳۳	R۱۸	۰/۵۰۰۰۰	۴/۵۵۵۷



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

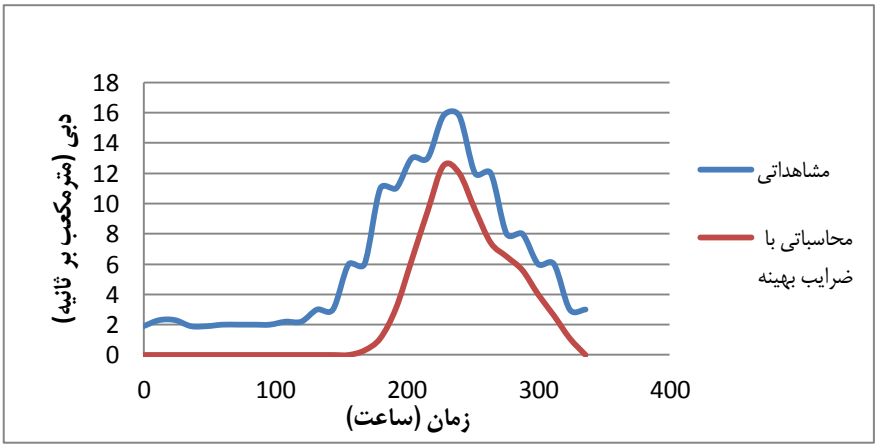
مقدار تابع هدف برای حالت روندیابی رودخانه با ضرایب K و X بهینه برابر با ۱۲/۱۷ می‌باشد. نتایج نشان داد ضرایب بهینه مقدار تابع هدف را به میزان ۲۸٪ کاهش داده و همچنین پیش‌بینی مقدار و زمان وقوع دبی اوج در حالت محاسبه با ضرایب بهینه دقت بالاتری نسبت به ضرایب معمول دارد. برای صحت‌سنجی مدل از هیدروگراف مشاهداتی سیلابی که در بازه زمانی ۱۳ الی ۲۵ تیر سال ۱۳۷۸ رخ داده، استفاده شده است، در شکل‌های ۸ و ۹ به‌ترتیب 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.



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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]



شکل ۹- هیدروگراف خروجی مشاهداتی و محاسباتی با ضرایب بهینه دردوره صحت سنجی از تاریخ ۱۳ الی ۲۵ تیر ۱۳۷۸

Figure 9. Observational and computational output hydrograph with optimal coefficients during verification from 13th to 25th July 1999

نتایج نشان داد مقدار تابع هدف در دوره صحت‌سنجی با محاسبه ضرایب K و X به روش معمول و بهینه به‌ترتیببرابر با ۴/۰۷ و ۳/۹ 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 پژوهش می‌توان گفت که محاسبات انجام شده در دوره واسنجی و صحت‌سنجی نشان داد، استفاده از ضرایب بهینه برای این روش روندیابی تاثیر به‌سزایی در کاهش مقدار تابع هدف داشته و لذا می‌توان از این روش برای سایر حوزه‌ها نیز استفاده نمود.

منابع

1. Abolfatahi, S., M. Heidari and S.M. Kashefipour. 2016. Evaluation of smart metering in submerged slide valve. Proceedings of the 15th Annual International Conference of Hydraulic, Ghazvin, Iran, (In Persian).
2. 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).
3. 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).
4. Alizadeh, A. 2008. Principles of Applied Hydrology. 25nd edn., Imam Reza University press, Mashhad, 630 pp (In Persian).
5. 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).
6. Behzadian, K. 2010. Developing methods for designing optimal biopsy samples forcalibration water distribution networks using multi criteria decision, Ph.D. Thesis, Amirkabir University, Tehran, Tehran, Iran.
7. 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.
8. Dorigo, M. 1991. Ant colony Optimization, New Optimization Techniques in Engineering, 101-116 pp.
9. Dorigo, M. 1992. Optimization, Learning and Natural algorithm. Ph.D. Thesis, Politecnico di Milano, Milan Italy, 235 pp.
10. Eckhardt, K., N. Fohrer and H.G. Frede. 2005. Automatic model calibration. Wiley Inter Science, 12: 651-658.
11. Ensaniat, N. 2012. Daily runoff simulation using the PSO algorithm in catchment model optimization. M.sc. Thesis. Azad University. Tehran, 130 pp (In Persian).
12. 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).
13. Masomi, M. and H. Montazeri. 2013. Optimization of Pressurized Irrigation System with ACO. Proceedings of the 13th Annual International Conference of Hydraulic, Tabriz, Iran (In Persian).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]

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 ModelBased 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, Kohgiloyeh &Boyerahmad Province). Journal of Watershed Management, 7: 70-84 (In Persian).
20. Sabzevari, T., R. Ardeanian, A. Shamsaei and A. Talebi. 2009. Hydrograph Estimation of UngagedCatchmentsusing 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 HydrographEstimation 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.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]

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

Iman Najafi[1], Alireza Emadi[2] and Mohammad Ali Gholami-Sefidkuhi[3]

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

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1399.11.21.7.1]
[DOI: 10.52547/jwmr.11.21.1]