Archive of SID

تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال پانزدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸
Volume 15, No. 3, Fall 2019 (IR-WRR)
۳۴۴-۳۴۷

یادداشت فنی

استفاده از روش ماسکینگام خطی و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) در محاسبه عمق سیلاب رودخانه‌ها

هادی نوروزی[۱*] و جلال بازرگان[۲]

چکیده

محاسبه عمق آب هنگام وقوع سیل جهت برآورد خسارات ناشی از آن، امری ضروری است. استفاده از روش‌های هیدرولیکی (حل معادلات سنت- ونانت) جهت روندیابی سیل و محاسبه عمق آب، به‌دلیل نیاز داشتن مشخصات مقاطع رودخانه در فواصل مناسب، امری زمان‌بر، مشکل و پر هزینه است. استفاده از روش‌های هیدرولوژیکی مانند روش ماسکینگام خطی جهت روندیابی سیل، علاوه بر سادگی و کم هزینه‌بودن، از دقت مناسبی نیز برخوردار است. تاکنون از روش ماسکینگام خطی جهت محاسبه هیدروگراف خروجی (تغییرات دبی بر حسب زمان در پایین‌دست) استفاده شده است. در حالی‌که در تحلیل اقتصادی و برآورد خسارات سیل و مدیریت و مهندسی سیل، محاسبه تغییرات عمق آب نسبت به زمان در پایین‌دست از اهمیت بسزایی برخوردار است. لذا در پژوهش حاضر با استفاده از روش ماسکینگام خطی و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) به جای محاسبه تغییرات دبی خروجی (پایین‌دست) نسبت به زمان، تغییرات عمق آب خروجی (پایین‌دست) نسبت به زمان در حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری ملاثانی (بالادست) و اهواز (پایین‌دست) رود کارون محاسبه شده است. روش جدید ارائه شده در پژوهش حاضر، علاوه بر اینکه از دقت مناسبی برخوردار است، نسبت به روش‌های هیدرولیکی ساده‌تر و کم هزینه‌تر نیز می‌باشد.

کلمات کلیدی: روندیابی سیل، روش ماسکینگام خطی، الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)، عمق سیلاب.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۱۰/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۲/۱

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه زنجان.
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه زنجان.
*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان زمستان ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

Technical Note

Using Linear Muskingum Method and the Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm for Calculating the Depth of Flood in Rivers

*H. Norouzi[1] and J. Bazargan[2]**

Abstract

To estimate the potential damage by a flood event it is essential to calculate the depth of water. Hydraulic methods for flood routing and calculation of water depth is time-consuming, complex and costly due to the need for river sections at appropriate distances. The use of hydrological methods such as the linear Muskingum method for flood routing, in addition to its simplicity and low cost, offers an appropriate accuracy. So far, the linear Muskingum method has been used to calculate the outflow hydrograph while in economic analysis and flood damage estimation and flood management and engineering, calculation of depth changes over time is of great importance. Therefore, in the present study, using the linear Muskingum method and the PSO algorithm the variation in the downstream depth of water (instead of outflow discharge) have been calculated over time for the river reach between the hydrometric stations of Mollasani and Ahwaz on Karun River. The new method presented in this study presented a good accuracy with more simplicity and less cost compared to the hydraulic methods.

Keywords: Flood Routing, Linear Muskingum Method, Particle Swarm Optimization (PSO) Algorithm, Flood Depth.

Received: January 4, 2019
Accepted: April 21, 2019

1- Ph.D. Student in Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: hadinorouzi72@gmail.com
2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Email: jbazargan@znu.ac.ir
*- Corresponding Author

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

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 (Nagesh Kumar and Janga Reddy, 2007)، مدیریت کنترل سیل (Meraji, 2004)، مدیریت کیفیت آب (Afshar et al., 2011; Lu et al., 2002; Chau, 2005) کاربرد دارد. Bazargan and Norouzi (2018) سیل ورودی را به سه ناحیه شروع، اوج و پایانی تقسیم کرده و برای هر ناحیه با استفاده از الگوریتم (PSO) مقادیر متفاوتی برای پارامترهای روش ماسکینگام خطی (X, K, Δt) بهینه‌یابی کردند. (Rezapour Tabari and Emami Dehcheshmeh, 2018) با استفاده از هیبرید الگوریتم‌های فراکاوشی PSO و DSO، مدل جدیدی برای روش ماسکینگام غیرخطی ارائه دادند. Bazargan and Norouzi (2018) جهت افزایش دقت روش ماسکینگام خطی، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) مقدار دبی خروجی در زمان شروع سیل را به صورت درصدی از دبی ورودی در آن زمان بهینه‌یابی کردند.

در پژوهش‌های قبلی، روش ماسکینگام خطی جهت محاسبه هیدروگراف سیل (تغییرات دبی نسبت به زمان) در پایین‌دست بازه مورد مطالعه، مورد استفاده قرار گرفته است. در حالی‌که در پژوهش حاضر، با استفاده از روش ماسکینگام خطی و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) راهکار جدیدی ارائه شده است که با استفاده از آن، تغییرات عمق آب خروجی نسبت به زمان در پایین‌دست هنگام وقوع سیل که در کارهای مهندسی و مدیریت سیلاب از اهمیت بسزایی نیز برخوردار است، به‌دست آمده است. به‌عبارت دیگر، از آنجایی‌که دبی ورودی و دبی خروجی به‌صورت توابعی از عمق آب می‌باشند، با جای‌گذاری توابع مذکور در رابطه ماسکینگام خطی و رابطه پیوستگی، رابطه‌ی جدیدی بر حسب عمق آب ارائه شده است که با استفاده از آن، تغییرات عمق آب خروجی (پایین‌دست) نسبت به زمان روندیابی شده است. جهت محاسبات مذکور، تنها از داده‌های تغییرات عمق آب نسبت به زمان استفاده شده است. در پژوهش حاضر، از داده‌های مربوط به دو ایستگاه هیدرومتری ملاثانی و اهواز در بالادست و پایین‌دست بازه مورد مطالعه رود کارون استفاده شده است (شکل ۱).

۲- معرفی روش ماسکینگام خطی

روش ماسکینگام طی مطالعات کنترل سیل که توسط مک کارتی بر روی رودخانه ماسکینگام انجام شد، ارائه گردید (McCarthy, 1938):

$$S = K[XI + (1 - X)O] \quad (۱)$$

معادله (۱) که به معادله ماسکینگام معروف است، اساس بحث در این روش بوده و در آن K و X عبارتند از دو ضریب به‌گونه‌ای که روابط مذکور را به‌صورت حتی‌الامکان خطی نمایند. X فاکتور وزنی است بین صفر تا نیم و K ثابت زمانی ذخیره است (Chow, 1959).

$$\frac{ds}{dt} \approx \frac{\Delta s}{\Delta t} = I - O \quad (۲)$$

از آنجایی‌که دبی ورودی و خروجی به صورت توابعی از عمق آب ورودی و خروجی هستند، توابع (۳) و (۴) را می‌توان بیان کرد:

$$I = M_1 Y_I^{\alpha} \quad (۳)$$

$$I = M_2 Y_O^{\beta} \quad (۴)$$

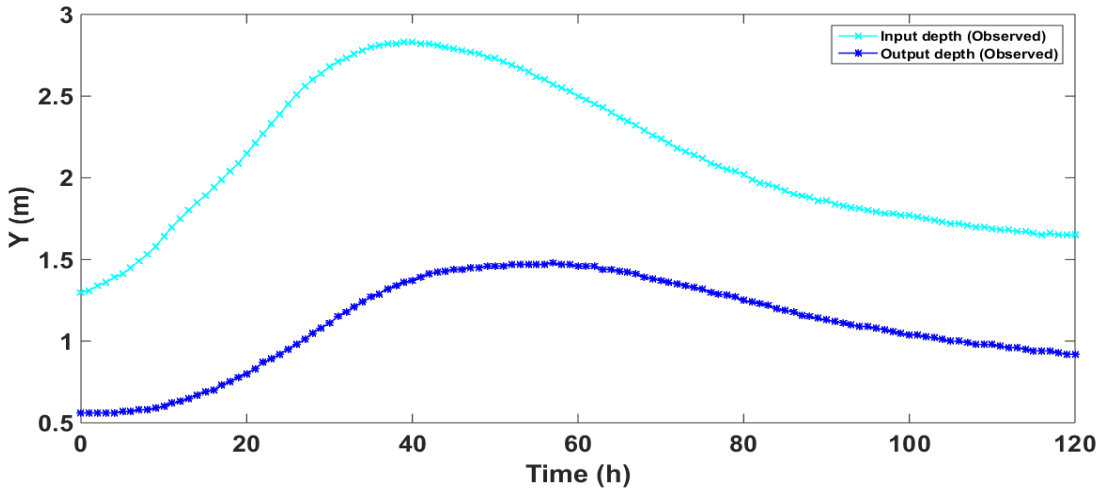

Fig. 1- Input and output water depths

شکل ۱- عمق آب ورودی و خروجی

www.SID.ir

Archive of SID

Y_I= عمق آب ورودی، Y_O= عمق آب خروجی و M_1، M_2، α و β ضرایب مربوط به بهینه‌یابی توابع مذکور می‌باشند. با قرار دادن روابط (۳) و (۴) در رابطه (۱) و (۲) و با توجه به پیوستگی جریان، معادلات مذکور به صورت معادلات (۵) و (۶) در می‌آیند:

$$\Delta S = \left[XM_1[(Y_I)_2^{\alpha} - (Y_I)_1^{\alpha}] + (1-X)M_2\left[(Y_O)_2^{\beta} - (Y_O)_1^{\beta}\right]\right] \quad (۵)$$

$$\Delta S = \Delta t\left[\frac{(I_1+I_2)}{2} - \frac{(O_1+O_2)}{2}\right] = \frac{1}{2}\Delta t\left[M_1[(Y_I)_1^{\alpha} + (Y_I)_2^{\alpha}] - M_2\left[(Y_O)_1^{\beta} + (Y_O)_2^{\beta}\right]\right] \quad (۶)$$

با برابر قرار دادن روابط (۵) و (۶) و ساده سازی، رابطه (۷) به صورت زیر بدست می‌آید:

$$(Y_O)_2 = \left[C_1(Y_I)_2^{\alpha} + C_2(Y_I)_1^{\alpha} + C_3(Y_O)_1^{\beta}\right]^{\frac{1}{\beta}} \quad (۷)$$

که در معادله فوق C_1، C_2 و C_3 به شرح زیر به دست می‌آیند:

$$C_1 = \left(\frac{M_1}{M_2}\right)\frac{0.5\Delta t - KX}{K - KX + 0.5\Delta T} \quad (۸)$$

$$C_2 = \left(\frac{M_1}{M_2}\right)\frac{0.5\Delta t + KX}{K - KX + 0.5\Delta T} \quad (۹)$$

$$C_3 = \frac{K - KX - 0.5\Delta t}{K - KX + 0.5\Delta T} \quad (۱۰)$$

۳- تحلیل و تفسیر نتایج

در پژوهش حـاضر، بهینه‌یابی پـارامترهای روش ماسکینگام خطی (X, K, Δt) و بهینه‌یابی M_1، M_2، α و β با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) صورت گرفته‌است. از رابطه (۱۱) به عنوان تابع هدف استفاده شـده است. فلوچارت مربـوطه به‌صورت شکل ۲ است.

$$SAD = \sum_{i=1}^{n} |y_i - Y_i| \quad (۱۱)$$

که در آن y_i بیانگر مقادیر عمق آب خروجی مشاهداتی (ثبت شده) و Y_i بیانگر مقادیر عمق آب خروجی محاسباتی می‌باشند.

به طور کلی پژوهش حاضر از مراحل زیر تشکیل شده‌است:

۱) دبی ورودی و دبی خروجی به صورت توابعی از عمق آب ورودی و عمق آب خروجی مطابق توابع (۳) و (۴) بیان شده و سپس با جای‌گذاری‌های لازم، رابطه (۷) جهت محاسبه عمق آب خروجی بدست آمده است.

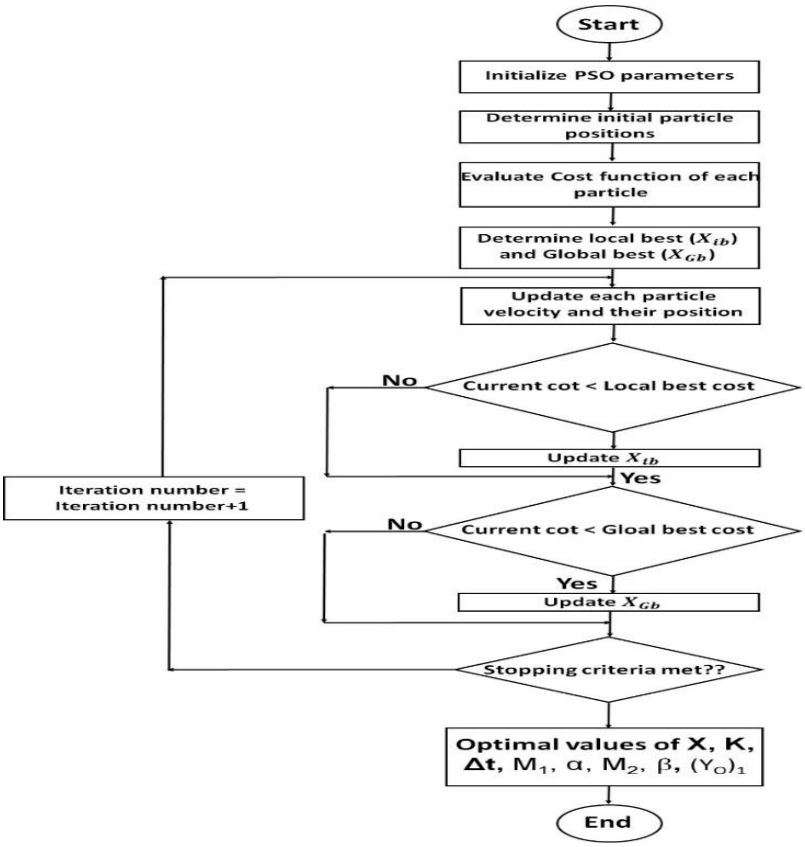

Fig. 2- Particle swarm optimization (PSO) algorithm flowchart

شکل ۲- فلوچارت الگوریتم ازدحام ذرات

www.SID.ir

Archive of SID

۲) استفاده از داده‌های تغییرات عمق آب ورودی و تغییرات عمق آب خروجی نسبت به زمان سیل (شکل ۱) جهت بهینه‌یابی پارامترهای روش ماسکینگام خطی (X, K, Δt) و بهینه‌یابی پارامترهای M_1، M_2، α و β که بهینه‌یابی‌های مذکور با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) صورت گرفته است و سپس نتایج محاسباتی با مقادیر مشاهداتی مقایسه شده است (جدول ۱).

۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه محاسبه عمق آب در هنگام وقوع سیل در کارهای مهندسی و کنترل سیلاب از اهمیت بسزایی برخوردار است، در پژوهش حاضر روش جدیدی با استفاده از روش ماسکینگام خطی ارائه گردیده است که با استفاده از آن و بدون نیاز به داشتن مشخصات مقاطع رودخانه، تنها با داشتن تغییرات عمق آب ورودی (بالادست) نسبت به زمان و تغییرات عمق آب خروجی (پایین‌دست) نسبت به زمان، پارامترهای مذکور بهینه‌یابی شده و سپس با مقادیر بهینه، مقدار تغییرات عمق آب خروجی نسبت به زمان هر سیل دیگری را که در بازه مورد مطالعه رخ داده است را با دقت مناسبی بدست آورد. به طوری که میانگین خطای نسبی (MRE) و خطای مقدار عددی اوج عمق آب خروجی مشاهداتی و محاسباتی (DPO) به‌ترتیب ۱/۵۵۰ و ۰/۱۰۱ درصد بدست آمده است.

۵- قدردانی

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

Table 1- Optimum values and results obtained using the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm
جدول ۱- مقادیر بهینه و نتایج بدست آمده با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO)

X	K (h)	Δt (h)	M_1 (m^2/s)	α	M_2 (m^2/s)	β	MRE %	DPO %
0.201	12.018	0.883	160.029	1.264	348.731	1.167	1.550	0.101

۶- مراجع

Afshar A, Kazemi H, Saadatpour M (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

Bazargan J, Norouzi H (2018) investigation the effect of uncertain of outflow determination at the time of flood initiation on the accuracy of flood routing calculations using the linear Muskingum method. Iran-Water Resources Research 15(1):356-360 (In Persian)

Bazargan J and Norouzi H (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

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

Chow V (1959) Open channel hydraulics. Newyork; Macgraw-Hill Book Company

Lu WZ, Fan HY, Leung AYT, Wong JCK (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

McCarthy G T (1938) The unit hydrograph and flood routing. New London, Conference North Atlantic, Division. US Army Corps of Engineers. New London. Conn. USA.

Meraji SH (2004) Optimum design of flood control systems by particle swarm optimization algorithm. M. Sc. Thesis, Iran University of Science and Technology

Mohammad Rezapour Tabari M, Emami Dehcheshmeh S (2018) Development of nonlinear Muskingum model using evolutionary algorithms hybrid. Iran-Water Resources Research 14(1):160-167 (In Persian)

Nagesh Kumar D, Janga Reddy M (2007) Multipurpose reservoir operation using particle swarm optimization. Water Resources Planning Management 133:192-201

www.SID.ir