2017, Vol.4, No.1, Pages 81 to 88
Journal of Water and Sustainable Development

سال چهارم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۶، صفحات ۸۱ تا ۸۸
نشریه آب و توسعه پایدار

River Flood Routing using The Multiple-reach Muskingum Model

A. Zahiri[1*], S. Asghari[2], A.A. Dehghani[3]

1,3- Associate Professor, Water Engineering Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 2-MSc in Civil Engineering, Lamei Gorgani Institute of Higher Education, Iran.

*(Corresponding Author Email: zahiri.areza@gmail.com)

Received: 24-06-2016س
Accepted: 19-11-2016

Abstract

The hydrological flood routing methods have many applications due to their simplicity and accuracy. Amongst these methods, the Muskingum routing model is more commonly used for river flood routing. In this model, it is assumed that the coefficients and parameters are spatially and temporally constant for a specific river. In this study, it has been shown that to increase the accuracy of traditional or single-reach Muskingum model results, a river may be split to several reaches and for each reach, the Muskingum procedure can be implemented separately. In this case, the multiple-reach Muskingum parameters will be obtained. The optimum number of reaches for a river are different and is probably dependent on the geometrical and bed slope changes through the river and should be obtained by optimization. By implementing the multiple-reach Muskingum model for the Karoun river, between Karoun and Gotvand hydrometric stations, it was shown that in this river the three-reach Muskingum model has considerably more accuracy than the single-reach method which causes the sum of squared error to decrease from 1750000 to nearly 1000000 $(m^3/s)^2$.

Keywords: Flood routing, Multiple-reach Muskingum model, Optimization, Karoun river.

روندیابی سیلاب رودخانه‌ها به روش ماسکینگام چندبازه‌ای

عبدالرضا ظهیری[۱*]، سلیم اصغری[۲]، امیراحمد دهقانی[۳]

۱ و ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران آب، موسسه آموزش عالی لامعی گرگانی.

*(نویسنده‌ی مسئول، E-Mail: zahiri.areza@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۴/۰۴
تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۸/۲۹

چکیده

روش‌های هیدرولوژی روندیابی سیلاب به دلیل سادگی و دقت مناسب دارای کاربرد زیادی هستند. از میان این روش‌ها، مدل ماسکینگام دارای مقبولیت بیشتری برای روندیابی سیل در رودخانه‌ها بوده است. در این مدل فرض می‌شود که ضرایب یا پارامترهای مدل در زمان و مکان برای یک رودخانه ثابت می‌باشند. در این پژوهش نشان داده شده است که برای افزایش دقت نتایج، می‌توان یک آبراهه را به چند بازه تقسیم نمود و برای هر بازه، محاسبات مدل ماسکینگام را به صورت مجزا اجرا نمود. در این صورت پارامترهای ماسکینگام چندبازه‌ای به دست خواهند آمد. تعداد بهینه بازه‌ها در هر آبراهه متفاوت بوده و احتمالاً به تغییرات هندسی و شیب طولی آبراهه بستگی داشته و باید به کمک بهینه‌سازی به دست آیند. اجرای مدل ماسکینگام چندبازه‌ای برای رودخانه کارون در حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری کارون-گتوند نشان داد که در این محدوده، تقسیم آبراهه به سه بازه نتایج بسیار بهتری نسبت به یکس بازه دارد؛ به‌طوری‌که مجموع مربعات خطا از حدود ۱۷۵۰۰۰۰ به حدود ۱۰۰۰۰۰۰ $(m^3/s)^2$ کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: روندیابی سیلاب، مدل ماسکینگام چندبازه‌ای، بهینه‌سازی، رودخانه کارون.

DOI: 10.22067/jwsd.v4i1.57007

مقدمه

انجام محاسبات روندیابی سیل در رودخانه‌ها به عنوان یکی از پیش‌نیازهای مهم طرح‌های مطالعاتی کنترل سازه‌ای و غیرسازه‌ای سیلاب بوده و صحت نتایج آن در طراحی و اجرای سازه‌های کنترل و مدیریت سیلاب رودخانه اهمیت زیادی دارد. روش‌های روندیابی سیلاب در رودخانه‌ها را می‌توان به دو روش هیدرولیکی و هیدرولوژیکی طبقه‌بندی نمود. به‌طور کلی روش‌های هیدرولیکی در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی، پروفیل امواج سیلاب را بهتر توصیف می‌کنند، اما این روش‌ها دارای پیچیدگی محاسباتی بیشتری بوده و به داده‌های ورودی بیشتری نیاز دارند. هم‌اکنون نرم‌افزارهای ریاضی-هیدرولیکی متعددی بر پایه حل عددی معادلات پیوستگی و مومنتوم سن‌ونان وجود دارند که به ابزار اصلی مهندسین هیدرولیک برای تعیین هیدروگراف‌های عمق و دبی جریان خروجی ناشی از گذر سیلاب از رودخانه‌ها تبدیل شده‌اند. برای سادگی کاربرد و اجرای فرآیند روندیابی سیل در رودخانه‌ها، روش‌های هیدرولوژیکی ارائه شده‌اند. یکی از مهمترین و پرکاربردترین روش‌های هیدرولوژیکی، روش ماسکینگام است که مورد توجه بسیاری از محققین و کاربران قرار گرفته است (Hosseini، ۲۰۰۹؛ براتی و اکبری، ۱۳۹۱). این روش به داده‌های هیدرولیک جریان و هندسه رودخانه نیاز نداشته و فقط کافی است هیدروگراف یک واقعه سیل از رودخانه در ایستگاه ورودی و خروجی در یک بازه از رودخانه موجود باشد. با محاسبه ضرایب روش ماسکینگام به ازاء این واقعه سیلابی، می‌توان از این روش برای روندیابی سیل‌های دیگر استفاده نمود. برای کاربرد روش ماسکینگام در رودخانه‌ها باید ابتدا بر اساس آمار سیلاب خروجی از رودخانه، ضریب وزنی x و زمان پیمایش رودخانه (K) واسنجی شوند. تاکنون روش‌های زیادی بر اساس اصول و مبانی بهینه‌سازی توسط محققین مختلف برای محاسبه ضرایب روش ماسکینگام در رودخانه‌ها ارائه شده است. شبکه‌های عصبی مصنوعی (Yang و Chang، ۲۰۰۱؛ Chu، ۲۰۰۹)، الگوریتم ژنتیک (Perumal، ۱۹۹۴؛ Mohan، ۱۹۹۷؛ ظهیری و همکاران، ۱۳۹۱)، الگوریتم نورد شبیه‌سازی شده (محمدی قلعه‌نی و همکاران، ۱۳۸۹)، بهینه‌سازی غیرخطی پاول (Samani و Shamsipour، ۲۰۰۴)، الگوریتم ژنتیک ارتقاء یافته (Bozorg-Haddad و همکاران، ۲۰۱۵)، روش‌های جستجوی مستقیم[1] و هارمونیک[2] (محمدی قلعه‌نی و ابراهیمی، ۱۳۹۱)، الگوریتم جهش قورباغه (عروجی و همکاران، ۱۳۹۲)، الگوریتم رقابت استعماری (رجبی و همکاران، ۱۳۹۴) و ... از جمله روش‌هایی هستند که تاکنون توسط محققین مختلف برای محاسبه سریع و دقیق پارامترهای مدل ماسکینگام مورد استفاده قرار گرفته‌اند. نکته مشترک در میان این تحقیقات فراوان این است که اغلب روش‌ها و الگوریتم‌های مذکور دارای محاسبات پیچیده و زمان‌بر می‌باشد.

تاکنون علاوه بر بهینه‌سازی ضرایب مدل ماسکینگام به کمک روش‌های نوین که عموماً زمان‌بر هستند، ایده‌های ساده‌تری نیز معرفی شده‌اند. روشی که اخیراً ارائه شده و از دقت و سادگی بسیار زیادی برخوردار است، بهینه‌سازی ضرایب روش ماسکینگام به کمک نرم‌افزار اکسل و ابزار Solver است (Hosseini، ۲۰۰۹؛ Karahan، ۲۰۱۲؛ Barati، ۲۰۱۳). این ابزار قابلیت بسیار بالایی در بهینه‌سازی معادلات غیرخطی و پیچیده دارد. به همین دلیل انجام محاسبات مدل ماسکینگام به کمک اکسل از دقت و سرعت بسیار بیشتری نسبت به روش معمول گرافیکی و نیز سایر روش‌های بهینه‌سازی برخوردار است. همچنین برای افزایش دقت محاسبات روندیابی سیل به روش ماسکینگام، Hosseini (۲۰۰۹) مدل ماسکینگام چندبازه‌ای را پیشنهاد نموده است. در این پژوهش، به کمک دو ایده ساده اخیر، روندیابی سیلاب در دو بازه از رودخانه کارون به روش ماسکینگام چندبازه‌ای انجام شده و دقت این روش با روش معمول (یک بازه‌ای) ماسکینگام مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

• روش ماسکینگام

مبنای روش ماسکینگام بر پایه معادله پیوستگی استوار است:

$$\frac{dS}{dt} = I - O \qquad (۱)$$

که S حجم ذخیره آب در رودخانه، I دبی سیل ورودی، O دبی سیل خروجی و t زمان است. در روش ماسکینگام خطی فرض می‌شود که حجم ذخیره، تابعی خطی از سیلاب ورودی و خروجی است:

$$S = K\left[xI + (1-x)O\right] \qquad (۲)$$

که K (بر حسب ساعت) و x ضرایب ثابتی هستند که باید بر اساس هیدروگراف ورودی و خروجی اندازه‌گیری شده در رودخانه، محاسبه شوند. پارامتر K بیان‌کننده زمان پیمایش رودخانه بوده و به طول رودخانه و تندی موج سیلاب بستگی دارد در حالی‌که x بیانگر اثر دبی‌های ورودی و خروجی سیل بر حجم ذخیره رودخانه بوده و معمولاً در محدوده ۰/۵-۰ تغییر می‌کند. با تعیین این دو پارامتر، می‌توان هیدروگراف دبی خروجی سیلاب را برای هر سیلی که در رودخانه اتفاق می‌افتد محاسبه نمود. برای انجام این کار از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$O_{t+1} = C_1 I_t + C_2 I_{t+1} + C_3 O_t \qquad (۳)$$

که I_t و I_{t+1} به ترتیب دبی‌های ورودی سیل در زمان‌های t و t+1 از

هیدروگراف ورودی سیلاب، O_t و O_{t+1} به ترتیب دبی‌های خروجی سیل در زمان‌های t و t+1 (از هیدروگراف خروجی سیلاب) و ضرایب C_1، C_2 و C_3 ضرایب روندیابی می‌باشند. این ضرایب از روابط زیر تعیین‌می‌شوند:

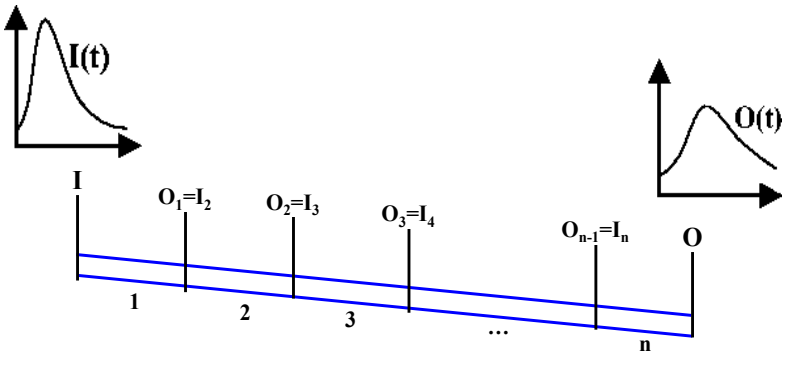
$$C_1 = \frac{Kx + 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t}$$
$$C_2 = \frac{0.5\Delta t - Kx}{K(1-x) + 0.5\Delta t} \qquad (۴)$$
$$C_3 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K(1-x) + 0.5\Delta t}$$

که گام زمانی محاسبات است. با تعیین ضرایب روندیابی، رابطه (۳) به صورت تکراری مورد استفاده قرار می‌گیرد تا هیدروگراف سیل خروجی را محاسبه نماید. مهم‌ترین مرحله محاسبات، تعیین پارامترهای K و x است که استفاده از روش‌های معمول برای محاسبه دقیق این ضرایب، پیچیده و زمان‌بر می‌باشد.

• بهینه‌سازی ضرایب ماسکینگام چندبازه‌ای

از میان الگوریتم‌های زیادی که محققین مختلف برای تعیین مقادیر بهینه پارامترهای مدل ماسکینگام (K و x) در آبراهه‌ها معرفی نموده‌اند، بدون شک استفاده از نرم‌افزار اکسل از سادگی بسیار بیشتری برخوردار است (Hosseini، ۲۰۰۹؛ Karahan، ۲۰۱۲). در نرم‌افزار اکسل ابزار سودمندی به منظور حل مسائل بهینه‌سازی خطی و غیرخطی وجود دارد که برای بسیاری از کاربردهای مهندسی قابل استفاده است. در این ابزار، متغیرهای تصمیم‌گیری (در این پژوهش، ضرایب ماسکینگام) با استفاده از چندین روش بهینه‌سازی قابل تعیین هستند که در این مقاله از روش بهینه‌سازی گرادیان کاهشی تعمیم یافته غیرخطی[۳] استفاده شد.

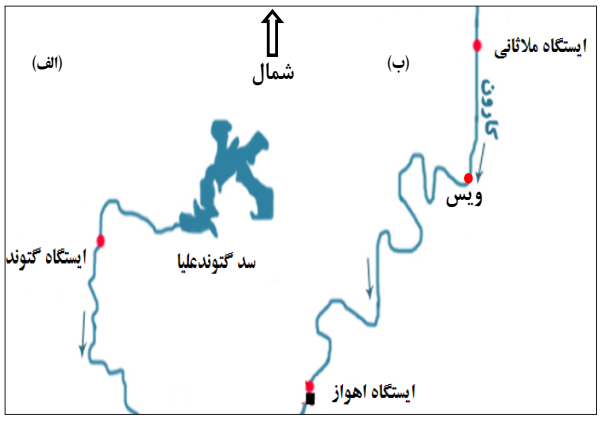
همچنین روش ماسکینگام چندبازه‌ای نیز به منظور افزایش دقت و کارآتر نمودن محاسبات روش معمول ماسکینگام معرفی و ارائه شده است. در این روش، رودخانه مورد بررسی به چند بازه کوچک‌تر تقسیم شده و برای هر بازه، محاسبات روندیابی ماسکینگام به صورت مجزا انجام می‌شود. به عبارت بهتر برای هر بازه، پارامترهای x و K مدل ماسکینگام به صورت مجزا محاسبه می‌شوند. محاسبات به گونه‌ای است که بر اساس هیدروگراف سیلاب ورودی و مقادیر فرضی x و K برای بازه اول، هیدروگراف خروجی از این بازه به دست می‌آید. این هیدروگراف خروجی، به عنوان هیدروگراف ورودی بازه دوم در نظر گرفته می‌شود و مجدداً به کمک این هیدروگراف ورودی و مقادیر فرضی x و K برای بازه دوم، هیدروگراف خروجی این بازه محاسبه می‌شود. این فرآیند به تعداد بازه‌های در نظر گرفته شده تکرار می‌شود تا در نهایت هیدروگراف خروجی از انتهای رودخانه به دست آید. با مقایسه این هیدروگراف خروجی با هیدروگراف خروجی واقعی، خطای محاسباتی مدل محاسبه شده و برای رسیدن به حداقل خطا، ضرایب مدل ماسکینگام در تمامی بازه‌ها بهینه می‌شوند. در شکل (۱) نمای ساده‌ای از تقسیم‌بندی یک آبراهه به چند بازه در روش ماسکینگام چندبازه‌ای نشان داده شده است.



شکل ۱- تقسیم سیستم اصلی رودخانه به چند بازه کوچک‌تر در روش ماسکینگام چندبازه‌ای

• رودخانه مورد مطالعه

رودخانه کارون طولانی‌ترین رودخانه ایران بوده و از نظر منابع آب نیز دارای اهمیت زیادی است. سیلاب‌های این رودخانه دارای مقادیر دبی اوج بالایی بوده و رسوبات زیادی نیز با خود حمل می‌کنند. با توجه به شیب کم اراضی جلگه‌ای در سواحل این رودخانه، انجام دقیق روندیابی سیلاب حائز اهمیت زیادی است. در این تحقیق، از دو واقعه سیلاب اتفاق افتاده در این رودخانه بزرگ استفاده شده است. در شکل‌های (۲) و (۳) پلان رودخانه کارون در بازه‌های مورد مطالعه در این پژوهش نشان داده شده است. علاوه بر این رودخانه، از داده‌های کانال فرضی ویلسون نیز برای ارزیابی دقت نتایج استفاده شده است. مسیر رودخانه در حد فاصل ملاثانی تا ویس به فاصله تقریبی ۱۵ کیلومتر بصورت مستقیم است اما از ویس تا اهواز دارای قوس‌های متعددی می‌باشد. در این پژوهش دو واقعه سیلاب اتفاق افتاده در بازه ملاثانی-اهواز مربوط به دی ماه سال ۶۰ و بازه سد گتوند تا ایستگاه گتوند در فروردین ماه سال ۶۱ مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۲- پلان رودخانه کارون در دو بازه مورد مطالعه، الف) بازه سد گتوند تا ایستگاه گتوند و ب)بازه ملاثانی تا اهواز

نتایج پژوهش

در این بخش نتایج حاصل از حل روندیابی هیدرولوژیکی سیل به روش ماسکینگام برای یک کانال فرضی و یک رودخانه طبیعی در کشور ارائه شده و کارایی ایده چندبازه نمودن آبراهه برای افزایش دقت محاسبات روش ماسکینگام مورد بررسی قرار گرفته است.

• نتایج داده‌های ویلسون

داده‌های Wilson (۱۹۷۴) یکی از مهم‌ترین داده‌هایی است که برای بسیاری از مطالعات بهینه‌سازی روندیابی سیلاب مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعه روندیابی سیلاب برای این داده‌ها به روش ماسکینگام یک بازه‌ای، دو بازه‌ای و سه بازه‌ای انجام شده است (شکل ۳). نتایج روندیابی به کمک بهینه‌سازی ضرایب ماسکینگام با استفاده از روش گرادیان کاهشی تعمیم یافته غیرخطی به دست آمده است. در این الگوریتم، ابتدا تابع هدف و تمامی محدودیت‌ها (قیدها) که غیرخطی هستند، خطی شده و سپس مسئله خطی شده به کمک روش برنامه‌ریزی خطی حل خواهد شد. مزیت روش گرادیان کاهشی تعمیم‌یافته این است که کاربرد آن بسیار ساده بوده و زمان اجرای آن نیز بسیار کم است (Lasdon و همکاران، ۱۹۷۴). در شکل (۳-الف) نتایج روندیابی سیلاب به روش ماسکینگام یک بازه‌ای برای این داده‌ها نشان داده شده است. مقادیر بهینه ضرایب x و K برای این نتایج به ترتیب ۰/۳۸۸ و ۱۶/۶۱ می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج محاسباتی هیدروگراف خروجی با هیدروگراف واقعی مطابقت مناسبی دارد. مجموع مربعات خطا برای این نتایج حدود ۵۴۱/۲ (مترمکعب بر ثانیه)^{2} می‌باشد. دبی اوج سیلاب خروجی محاسباتی حدود ۸۳/۵ مترمکعب بر ثانیه به دست آمده است که نسبت به مقدار واقعی (۸۵ مترمکعب بر ثانیه) حدود ۱/۸ درصد اختلاف دارد. زمان دبی اوج نیز ۵۴ ساعت بعد از وقوع سیل اتفاق افتاده است که ۶ ساعت با زمان واقعی اختلاف دارد. این در حالی است که مقدار مجموع مربعات خطا برای نتایج اصلی ویلسون که بر پایه حل روش ماسکینگام به کمک روش گرافیکی است حدود ۱۱۰۵ (مترمکعب بر ثانیه)^{2} می‌باشد. قابل ذکر است که در مطالعه ویلسون مقادیر بهینه ضرایب x و K به ترتیب ۰/۲۵ و ۳۶ به دست آمده‌اند (Hosseini، ۲۰۰۹).

نکته مهمی که لازم است به آن اشاره شود این است که بعضی از محققان اعتقاد دارند که چون ضریب x بر اساس مفاهیم علم هیدرولوژی دارای مفهوم حجم ذخیره گوه‌ای سیلاب در رودخانه است بنابراین نباید مقدار آن منفی باشد. بر این اساس محدوده معمول برای این ضریب ۰ تا ۰/۵ گزارش شده است. اما محققان دیگری مثل Dooge (۱۹۷۳) معتقد هستند که بر اساس مفاهیم مدل‌سازی ریاضی، مقدار این ضریب دارای هیچ محدوده‌ای نبوده و از مقادیر بسیار کوچک منفی تا مقادیر بسیار بزرگ مثبت را شامل می‌شود (Singh، ۱۹۸۸؛ Hosseini، ۲۰۰۹).

در شکل (۳-ب) نتایج روندیابی دو بازه‌ای سیل ویلسون به کمک روش ماسکینگام نشان داده شده است. مقادیر بهینه ضرایب x و K برای این نتایج برای بازه اول به‌ترتیب ۰/۰۹۶- و ۱۱/۲۰ ساعت و برای بازه دوم به‌ترتیب ۰/۰۹۶- و ۱۱/۲۰ به دست آمده‌اند. مجموع مربعات خطا برای این نتایج حدود ۲۰۶/۶ می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، مطابقت هیدروگراف دبی خروجی سیلاب محاسباتی با هیدروگراف خروجی واقعی نسبت به حالت ماسکینگام یک بازه‌ای بهبود زیادی یافته است. دبی اوج سیلاب خروجی در این حالت حدود ۸۵/۶ مترمکعب بر ثانیه به دست آمده است که با دبی واقعی فقط ۰/۶ مترمکعب بر ثانیه اختلاف دارد. همچنین زمان وقوع دبی پیک خروجی محاسباتی با زمان واقعی یکسان است که دقت مناسب ایده دو بازه‌ای نمودن محاسبات را نشان می‌دهد.

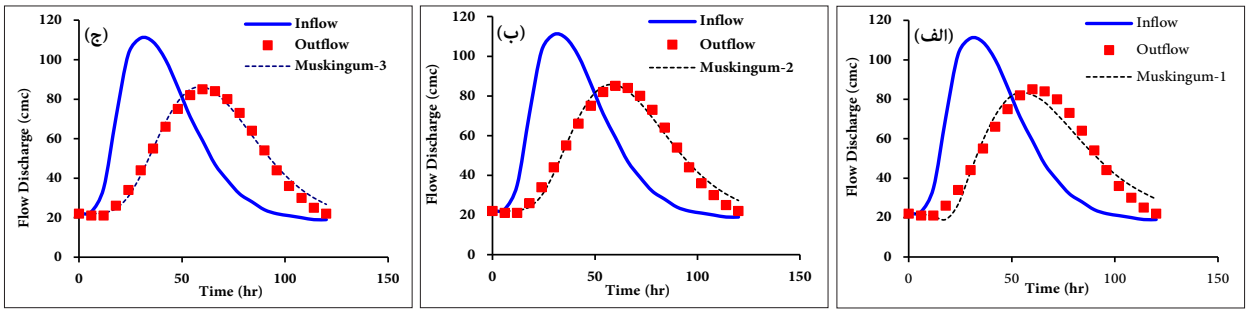
• ارزیابی دقت نتایج محاسباتی

برای بررسی دقت نتایج به دست آمده از روش‌های مختلف روندیابی سیلاب در رودخانه‌های مورد مطالعه در این پژوهش از معیار آماری مجموع مربعات خطا (SSQ) به صورت زیر استفاده شده است:

$$SSQ = \sum_{i=1}^{N} (O_i^{computed} - O_i^{observed})^2 \qquad (۵)$$

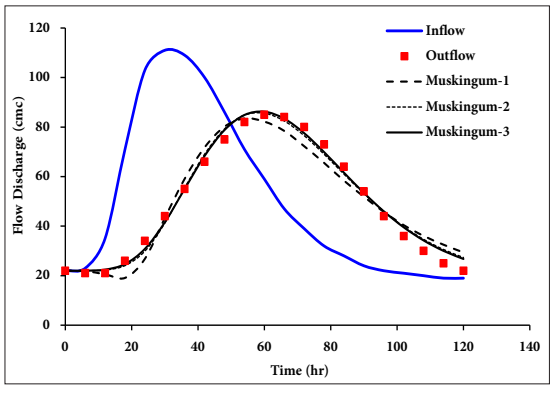
که در آن SSQ مجموع مربعات خطا یا اختلاف بین دبی جریان خروجی مشاهداتی و محاسباتی و N تعداد داده‌های ثبت شده است.

همین فرآیند برای حالت سه بازه‌ای نیز انجام شده و نتایج آن در شکل (۳-ج) ارائه شده است. اگرچه ظاهراً نتایج این مرحله با نتایج مرحله قبل (حالت دو بازه‌ای) تفاوت چندانی ندارد، اما این تفاوت از نظر آماری و هیدرولوژیکی قابل ملاحظه است، به طوری‌که مجموع مربعات خطا از مقدار ۲۰۶/۶ در حالت دو بازه‌ای به مقدار ۱۵۴/۸ کاهش یافته است. تفاوت دیگر که مهم‌تر بوده و از نظر هیدرولوژیکی قابل اهمیت است، تغییر ضرایب x و K است. در حالت سه بازه‌ای، این مقادیر برای هر سه بازه به‌ترتیب ۰/۰۷۵ و ۱۰/۲۵ ساعت به دست آمده‌اند که به دلیل مثبت بودن مقادیر x و نیز قرار گرفتن آنها در محدوده قابل قبول هیدرولوژیست‌ها (صفر تا ۰/۵)، قابل توجه و ارزش است. دقت محاسبات ماسکینگام سه بازه‌ای از این جنبه نیز قابل اهمیت است که طبق نتایج محمدی قلعه‌نی و ابراهیمی (۱۳۹۱)، بهترین حالت بهینه‌سازی ضرایب ماسکینگام برای داده‌های سیل ویلسون به کمک روش‌های جستجوی مستقیم و جستجوی هارمونیک به دست آمده و مجذور مربعات خطا برای این دو روش حدود ۱۸۰ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد که بیانگر دقت کمتر این روش‌ها نسبت به روش ماسکینگام سه بازه‌ای است.



شکل ۳- نتایج روندیابی سیل ویلسون به کمک روش ماسکینگام یک بازه‌ای، دو بازه‌ای و سه بازه‌ای

در شکل (۴) نتایج محاسبات هر سه حالت یک بازه‌ای، دوبازه‌ای و سه بازه‌ای روش ماسکینگام برای سیل ویلسون نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج محاسبات ماسکینگام دو بازه‌ای و سه بازه‌ای دارای دقت بهتری نسبت به حالت معمول ماسکینگام بوده و مطابقت بیشتری با داده‌های واقعی ویلسون دارند. همچنین نتایج حالت دوبازه‌ای و سه بازه‌ای تقریباً یکسان بوده و انتظار می‌رود افزایش تعداد بازه‌ها به بیش از سه بازه، دقت محاسبات را چندان افزایش ندهد. با بررسی دقیق‌تر مقادیر ضریب K در سه حالت یک بازه‌ای، دو بازه‌ای و سه بازه‌ای این واقعیت مشخص می‌شود که با افزایش تعداد بازه‌ها، مقدار این ضریب روندی کاهشی داشته است. این روند با توجه به مفهوم هیدرولوژیکی ضریب K که نسبت طول بازه به تندی موج کینماتیکی است (Singh، ۱۹۸۸)، صحیح می‌باشد.



شکل ۴- نتایج روندیابی چندبازه‌ای ماسکینگام برای داده‌های ویلسون

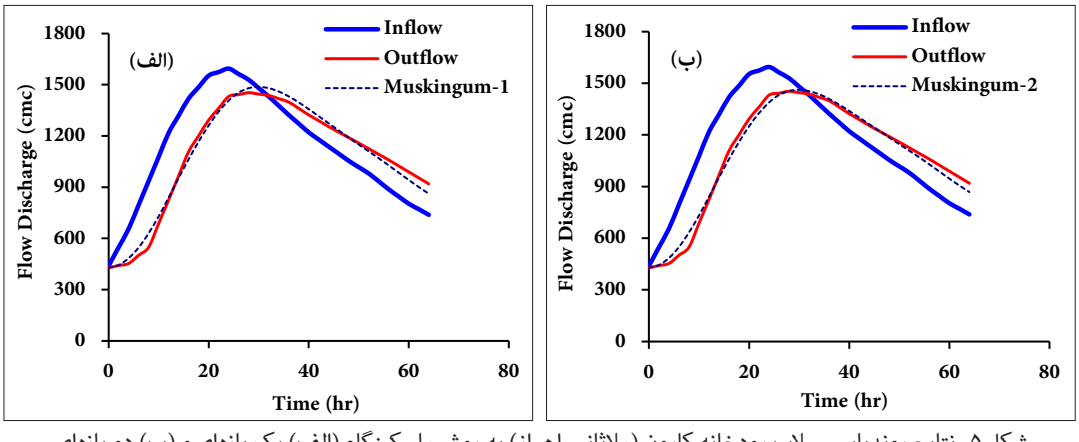
• نتایج روندیابی سیل برای رودخانه کارون

- بازه ملاثانی تا اهواز

واقعه سیلابی اول انتخاب شده در این تحقیق، سیل مورخ ۱۷ تا ۱۹ دی ماه ۱۳۶۰ می‌باشد. در شکل (۵-الف) هیدروگراف سیلاب ورودی به ایستگاه هیدرومتری ملاثانی و نتایج روندیابی این سیل در محل ایستگاه هیدرومتری اهواز (خروجی بازه‌ای به طول ۶۳ کیلومتر) به کمک روش ماسکینگام یک بازه‌ای نشان داده شده است. دبی اوج سیلاب ورودی به ایستگاه هیدرومتری بالادست (ملاثانی) حدود ۱۶۰۰ متر مکعب بر ثانیه و دبی خروجی از ایستگاه پایین‌دست (اهواز) حدود ۱۴۵۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. ضرایب بهینه ماسکینگام در این حالت به ترتیب K=۶/۵۸ و x=۰ بدست آمده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج این محاسبات دارای مطابقت مناسبی با هیدروگراف خروجی از بازه مورد نظر است. دبی اوج سیلاب خروجی واقعی

از ایستگاه هیدرومتری اهواز که مهمترین ایستگاه هیدرومتری واقع بر رودخانه کارون بوده و در محدوده شهر اهواز قرار گرفته است حدود ۱۴۵۳ و دبی اوج سیلاب محاسباتی حدود ۱۴۸۳ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد. این اختلاف دبی جریان (۳۰ مترمکعب بر ثانیه) معادل حدود ۲/۱ درصد می‌باشد. همچنین زمان وقوع دبی اوج سیلاب واقعی و محاسباتی به ترتیب ۲۸ و ۳۰ ساعت بعد از عبور سیلاب از ایستگاه ملاثانی اتفاق افتاده است که بیانگر خطای ۲ ساعت می‌باشد.

برای افزایش دقت محاسبات، بازه ۶۳ کیلومتری مورد نظر به دو زیربازه تقسیم شده و محاسبات ماسکینگام مجدداً انجام شده است. نتایج این مرحله از محاسبات در شکل (۵-ب) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود نتایج محاسبات ماسکینگام دو بازه‌ای دارای دقت بهتری است به طوری‌که دبی اوج سیلاب خروجی محاسباتی در این مرحله حدود ۱۴۶۱ مترمکعب بر ثانیه بدست آمده است. خطای محاسبه دبی اوج خروجی در این حالت از ۲/۱ درصد در حالت ماسکینگام یک بازه‌ای به حدود ۰/۶ درصد کاهش یافته است. ضرایب بهینه x و K برای بازه اول به ترتیب ۰/۶۴ و ۱۳/۶۹ و برای بازه دوم به ترتیب ۰ و ۱۹/۹۱ بدست آمده است. با توجه به دقت مناسب این محاسبات، افزایش دو بازه به سه بازه مدنظر قرار نگرفته است.



شکل ۵- نتایج روندیابی سیلاب رودخانه کارون (ملاثانی-اهواز) به روش ماسکینگام (الف) یک بازه‌ای و (ب) دو بازه‌ای

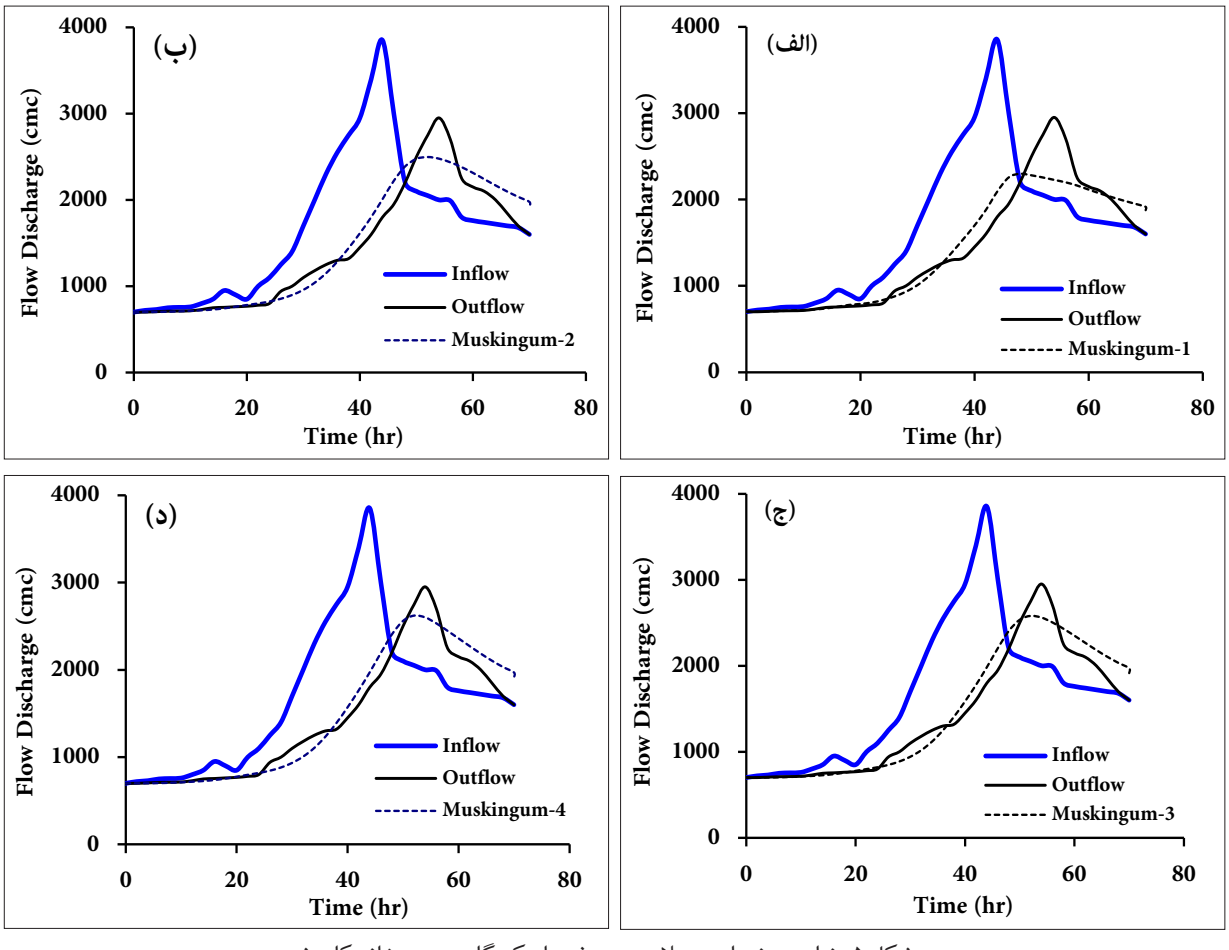
- بازه سد گتوند تا ایستگاه گتوند

در شکل (۵-الف) نتایج محاسبات روندیابی سیلاب در یکی از بازه‌های این رودخانه به کمک روش ماسکینگام یک بازه‌ای نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود روش محاسباتی ماسکینگام یک بازه‌ای نتوانسته است خروجی مناسبی از سیلاب اتفاق افتاده را شبیه‌سازی نماید. مقدار بسیار بزرگ مجموع مربعات خطا در آن حالت بیانگر عدم دقت کافی محاسبات این مرحله است. برای افزایش دقت نتایج محاسباتی، روش ماسکینگام برای بازه‌های بیشتر مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (۱) و نیز شکل‌های (۵-ب) تا (۵-د) به‌ترتیب نتایج محاسبات به دست آمده از روش‌های ماسکینگام دو بازه‌ای، سه بازه‌ای و چهاربازه‌ای نشان داده شده است.

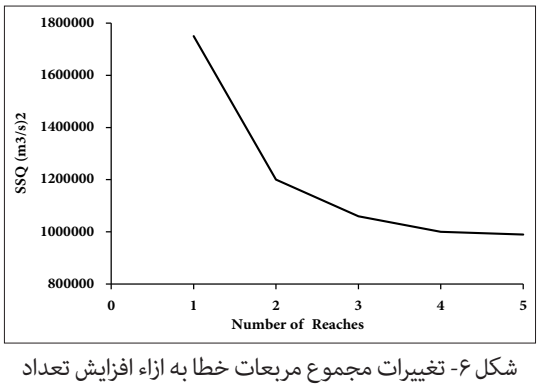
همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد بازه‌ها، دقت نتایج خروجی نیز بهبود می‌یابد. به طور مثال، مجموع مربعات خطا برای حالت‌های محاسبات روندیابی ماسکینگام یک بازه‌ای تا ۴ بازه‌ای به ترتیب حدود ۱۷۵۰۰۰۰، ۱۲۰۰۰۰۰، ۱۰۶۰۰۰۰ و ۱۰۰۰۰۰۰ به دست آمده است که بیان‌گر افزایش دقت در حالت چندبازه‌ای است. با افزایش تعداد بازه‌ها از یک به دو، کاهش خطای محاسبات چشم‌گیر می‌باشد اما این کاهش خطا در مراحل بعدی افزایش بازه‌ها تکرار نمی‌شود، به طوریکه نرخ کاهش خطا با افزایش تعداد بازه‌ها از دو به بالاتر، دارای روندی کاهشی است؛ بنابراین بهینه‌ترین حالت در این شرایط، حالت سه بازه‌ای است. تغییرات مجموع مربعات خطا به ازاء افزایش تعداد بازه‌ها در شکل (۶) نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج ضرایب روندیابی ماسکینگام در حالت چند بازه‌ای در رودخانه کارون (بازه کارون-گتوند)

ضرایب روندیابی	تعداد بازه‌ها			
	۱	۲	۳	۴
x	۰	۰،۰	۰،۰،۰	۰،۰،۰،۰
K(hr)	۱۵/۳۶	۴/۹۲، ۸/۸۹	۲/۴۹، ۸/۷۹، ۸/۷۹	۱/۶۹، ۱/۶۹، ۱/۶۹، ۸/۷۹
$SSQ(m^3/s)^2$		۱۲۰۰۰۰۰	۱۰۶۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰



شکل ۵- نتایج روندیابی سیلاب به روش ماسکینگام در رودخانه کارون
الف) یک بازه‌ی، ب) دوبازه‌ای، ج) سه بازه‌ای و د)چهاربازه‌ای



شکل ۶- تغییرات مجموع مربعات خطا به ازاء افزایش تعداد بازه‌ها در روش ماسکینگام چندبازه‌ای در رودخانه کارون

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت تخمین دقیق هیدروگراف سیلاب خروجی از بازه‌های پایین‌دست در طرح‌های کنترل سیل رودخانه‌ها، ارائه روش‌های بیهنه در این زمینه سودمند است. در این مقاله برای محاسبه دقیق‌تر هیدروگراف سیلاب خروجی از رودخانه کارون برای ارزیابی دقیق‌تر نتایج محاسبات، معیار خطای نسبی در برآورد دبی پیک سیلاب و نیز مدت زمان رسیدن این دبی پیک به ایستگاه مدنظر قرار گرفته است. درصد خطای نسبی برآورد دبی پیک سیلاب در حالت یک بازه‌ای حدود ۲۲/۱ می‌باشد درحالی‌که این خطا برای شرایط دوبازه، سه بازه و چهاربازه به ترتیب ۱۵/۳، ۱۲/۵ و ۱۱/۲ به دست آمده است. زمان وقوع دبی پیک سیلاب در حالت یک بازه‌ای، ۴۸ ساعت بعد از وقوع سیلاب به دست آمده است که نسبت به زمان وقوع واقعی (۵۴ ساعت)، ۶ ساعت اختلاف دارد. این اختلاف برای هر سه حالت دوبازه، سه بازه و چهار بازه ۲ ساعت می‌باشد.

در دو بازه مختلف، از روش ماسکینگام چندبازه‌ای استفاده شد. نتایج نشان داد که چندبازه نمودن رودخانه باعث ارتقاء دقت نتایج محاسباتی شامل دبی اوج سیلاب و نیز زمان وقوع آن می‌شود. نکته کلی این است که روش مذکور در حالتی باعث بهبود موثر نتایج محاسبات روش ماسکینگام می‌شود که رودخانه موردنظر با یک زوج مقدار برای ضرایب x و K قابل

شبیه‌سازی نباشد یا نتایج محاسباتی دارای دقت کمی باشند. به‌هرحال اگر در مسیر حرکت موج سیلاب در یک رودخانه، شرایط هندسی و هیدرولیکی رودخانه (عرض رودخانه، عمق رودخانه، ضریب زبری، شیب طولی) تغییر قابل ملاحظه‌ای یابند ممکن است استفاده از یک زوج مقدار برای ضرایب ماسکینگام نتیجه مناسب و قابل قبولی را برای هیدروگراف خروجی سیلاب ارائه ندهد. در این صورت کاربرد روش ماسکینگام چندبازه‌ای توصیه می‌شود.

پی‌نوشت

1- Pattern Search (PS)

2- Harmonic Search (HS)

3- Nonlinear Generalized Reduced Gradient (GRG)

منابع

براتی، ر. و اکبری، غ. ۱۳۹۱. مقایسه مدل‌های هیدرولوژی روندیابی سیل در رودخانه‌ها. مجله پژوهش آب ایران، ۶(۱۱): ۱۰۵ تا ۱۱۴.

رجبی، د.، کرمی، ح.، حسینی، خ.، موسوی، س.ف. و هاشمی، س.ع.ا. ۱۳۹۴. تخمین پارامترهای بهینه مدل روندیابی ماسکینگام غیرخطی با استفاده از الگوریتم رقابت استعماری. نشریه علوم آب و خاک، ۱۹(۷۳): ۳۲۱ تا ۳۳۳.

ظهیری، ع، شریفان، ح. و تمدنی کناری، س. ۱۳۹۱. بهینه‌سازی روش ماسکینگام در روندیابی سیل در رودخانه‌های سیلابی. پژوهش‌نامه مدیریت حوزه آبخیز، ۳(۶): ۱ تا ۱۴.

عروجی، ح.، بزرگ حداد، ا. و فلاح مهدی‌پور، ا. ۱۳۹۲. الگوریتم بهینه‌سازی جهش قورباغه در تخمین ضرایب مدل روندیابی سیلاب. مجله پژوهش آب ایران، ۷(۱۳): ۱۶۷ تا ۱۷۴.

محمدی قلعه‌نی، م.، بزرگ حداد، ا. و ابراهیمی، ک. ۱۳۸۹. بهینه‌سازی فراسنج‌های شبه‌غیرخطی ماسکینگام با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی نورد شبیه‌سازی شده. نشریه آب و خاک، ۲۴(۵): ۹۰۸ تا ۹۱۹.

محمدی قلعه‌نی، م.، و ابراهیمی، ک. ۱۳۹۱. ارزیابی الگوریتم‌های جستجوی مستقیم و ژنتیک در بهینه‌سازی پارامترهای مدل غیرخطی ماسکینگام- یک سیلاب از کارون. مدیریت آب و آبیاری، ۲(۲): ۱ تا ۱۲.

Barati R. 2013. Application of excel solver for parameter estimation of the nonlinear Muskingum models. KSCE Journal of Civil Engineering, 17(5): 1139-1148.

Bozorg-Haddad O., Hamedi F., Fallah-Mehdipour E., Orouji H. and Mariño M.A. 2015. Application of a hybrid optimization method in Muskingum parameter estimation. J. Irrigation and Drainage Engineering, 140: 15-26.

Chu H.J. 2009. The Muskingum flood routing model using a Neuro-Fuzzy approach. J. Civil Eng., KSCE, 13: 371-376.

Dooge J.C.I. 1973. Linear theory of hydrologic systems. USDA, Agric. Res. Serv., Tech, Bull., No. 1468.

Hosseini, S. M. 2009. Application of spreadsheets in developing flexible multiple-reach and multiple-branch methods of Muskingum flood routing. Computer Applications in Engineering Education, 17(4): 448–454.

Karahan H. 2012. Predicting muskingum flood routing parameters using spreadsheets. Computer Applications in Engineering Education, 20(2): 280–286.

Lasdon L., Fox R. and Ratner M. 1974. Nonlinear optimization using the generalized reduced gradient method. Oprations Research, 8(3): 73-103.

Mohan S. 1997. Parameter estimation of nonlinear Muskingum models using genetic algorithm. J. Hydrul. Eng., ASCE, 123(3): 137-142.

Perumal M. 1994. Hydrodynamic derivation of a variable parameter muskingum method: 2. Verification. Hydrological Sciences Journal, Oxford, U.K., 39)5): 431-441.

Singh V.P. 1988. Hydrologic systems. Vol. 1: Rainfall-runoff modeling. Prentice Hall, N.J.

Samani H.M.V. and Shamsipour G.A. 2004. Hydrologic flood routing in branched river systems via nonlinear optimization. J. Hydraul. Res., IAHR, 42:(1): 55-59.

Wilson, E.M. 1974. Engineering hydrology. Macmillan, London.

Yang C.C. and Chang L.C. 2001. Enhanced efficiency of the parameter estimation of Muskingum model using artificial neural network. J. Hydroscience and Hydraulic Engineering, 19(2): 47-55.