دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

ارزیابی کارآیی روش‌های ماسکینگام و آت-کین اصلاح شده در روندیابی سیل (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تالار، استان مازندران)

سید محسن معنوی امری[۱]، آرش ملکیان[۲]، کاکا شاهدی[۳] و بهارک معتمد وزیری[۴]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، (نویسنده مسوول: sm_manavi1366@yahoo.com)
۲- استادیار، دانشگاه تهران
۳- استادیار، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۵- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۲۹

چکیده

پیش‌بینی تغییر ارتفاع سیل در مخازن و رودخانه‌ها ازطریق روندیابی صورت می‌گیرد. هم چنین می‌توان تاثیر مخزن سد را از نظر حجم سیلاب عبوری و میزان کاهش دبی حداکثر لحظه‌ای سیل در پایین دست رودخانه، برآورد کرده و متناسب با آن و نیز درجه اهمیت تاسیسات در پایین دست، نوع عملیات پیشگیری را مشخص کرد. بررسی روند سیل از دو راه هیدرولیکی و هیدرولوژیکی قابل مطالعه می‌باشد. از معایب روش هیدرولوژیکی دقت پایین آن نسبت به روش هیدرولیکی می‌باشد. اما از مزایای مدل‌های هیدرولوژیکی می‌توان به سادگی و سهولت آن نسبت به روش هیدرولیکی اشاره کرد. همچنین برای انجام فعالیت‌هایی مثل کنترل سیل، پهنه‌بندی سیل، طراحی‌سازه از اطمینان قابل قبولی برخوردار است. در این تحقیق از برخی روش‌های هیدرولوژیکی مثل روش آت-کین اصلاح شده و ماسکینگام جهت انجام فعالیت روندیابی در بخشی ازحوزه آبخیز تالار واقع در استان مازندران در حد فاصل پل سفید- شیرگاه استفاده شده است که از بین روش‌های استفاده شده در این تحقیق روش ماسکینگام با RMSE =۰/۵۵۹ و R^2 =۰/۹ نسبت به روش آت- کین از کارآیی بالاتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: رودخانه، سیلاب، روش هیدرولوژیکی، پل سفید، شیرگاه

مقدمه

رواناب[۱] یا جریان آبراهه[۲] شامل حرکت ثقلی در آبراهه‌ها است. این آبراهه‌ها می‌توانند یک جویبار یا رودخانه‌ای عظیم باشند. همانند آبراهه، رواناب به آورد رودخانه یا آبدهی یک آبخیز اطلاق می‌گردد. هرگاه شدت بارندگی از ظرفیت نگهداشت حوزه (نفوذ) بیشتر باشد، مقداری از بارش روی سطح زمین باقی می‌ماند و با ادامه بارندگی به صورت جریان ارضی روی سطح خاک حرکت می‌کند. آمار نشان می‌دهد که سیلاب‌ها در ایران از رشد سالانه حدود چهار درصد از نظر تعداد، ۶۰ درصد از نظر خسارت برخوردار می‌باشد (۵).

1- Runoff
2- Quick flow

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

افزایش خطرات سیلاب‌ها در مناطق مختلف به ویژه مناطق شهری باعث شده است که محققان مهندسی رودخانه و هیدرولوژیست‌ها به طور جدی رفتارهای هیدرولیکی رودخانه‌های طغیانی را مورد بررسی قرار دهند. گرچه امروزه بخش مهمی از سیلاب رودخانه‌های مهم مهار شده‌اند اما هنوز، سیل خسارت جانی و مالی فراوانی را به جوامع بشری و سرمایه‌های آنها وارد می‌سازد که حکایت از عدم مدیریت مناسب در کنترل سیل دارد.

از جمله موارد کنترل سیلاب می‌توان به ساماندهی رودخانه[1]، پهنه‌بندی سیلاب[2]، پیش‌بینی سیلاب[3] و اولویت‌بندی مناطق سیل‌خیز از نظر اجرای پروژه‌های عمرانی و نقشه‌های حساسیت به سیل اشاره نمود. در تمام موارد فوق و سایر کارهای مهندسی منابع آب لازم است که تراز سطح آب در دوره بازگشت مورد نظر محاسبه گردد (۱). در این تحقیق به طور خاص اهدافی مثل ارزیابی کارایی روش‌های ماسکینگام و آت-کین اصلاح شده، بررسی میزان تطابق هیدروگراف خروجی مشاهده شده در مناطق پایین دست با هیدروگراف بدست آمده و ارائه راهکارهایی در جهت استفاده از معادلات صحیح‌تر و کاراتر در رودخانه تالار مد نظر می باشد.

حرکت امواج سیل در رودخانه‌ها یا در دریاچه مخازن سدها همراه با تغییرات زمان افت‌خیزهای امواج موضوع با اهمیتی را در هیدرولوژی تشکیل داده است. روش درک تئوری و عملی عکس‌العمل رودخانه‌ها و مخازن سدها در برابر هجوم جریان‌های آب و فروکش آن و تعیین تاثیرات احتمالی آبنمود ورودی جریان آب روندیابی جریان[4] تعریف می‌شود. به عبارتی روندیابی جریان روشی است که توزیع زمانی مقدار جریان (آبنمود جریان) را در محلی از مسیر رودخانه یا در سرریز سد با استفاده از آبنمود مشخص در بالادست آن محل تعیین می‌کند (۱۱، ۱۲).

روندیابی در پیش بینی سیل، طراحی جامع منابع آب، طراحی مخازن پشت سد و شبیه سازی آبخیزها استفاده می‌گردد (۵). پونس و همکاران (۱۳)، به بررسی میزان کارآیی روش ماسکینگام-کانژ پرداختند و دریافتند که تطابق زیاد بین نتایج و هیدروگراف‌های محاسباتی و مشاهداتی حکایت از کارآیی بالای این روش در بین روش‌های روندیابی سیلاب دارد. برکهد و جیمز (۴) روش ماسکینگام را برای روندیابی جریان غیر ماندگار در فعالیت‌های هیدرولوژیکی روش مناسبی دانستند. کومار و همکاران (۹) قابلیت اجرای روش ماسکینگام کالیبره شده برای روندیابی سیلاب در حوزه آبخیز ماهانادی هندوستان را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که این روش می‌تواند برای وضعیت و موقعیت شبیه به حوزه آبخیز ماهانادی با اصلاح‌های مناسب کالیبره شود و مورد استفاده قرار گیرد. همچنین عبدالشاه‌نژاد (۲) به مقایسه روش‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی روندیابی سیل از جمله ماسکینگام و آت-کین اصلاح شده در بخشی از رودخانه کارون پرداخت. در میان روش‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده، هیدروگراف‌های خروجی بدست آمده از روش

1- River Training 2- Flood Zoning 3- Flood Forecasting 4- Flow routing

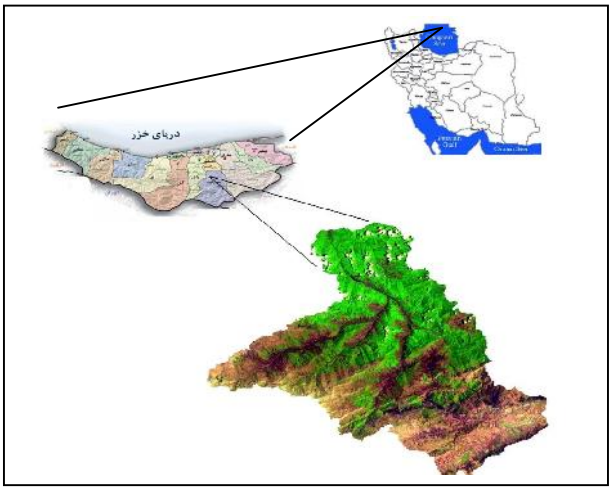
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

ماسکینگام تطابق بیشتری با هیدروگراف خروجی مشاهده شده داشتند. قاسمیه (۸) در بررسی میزان کارآیی مدل‌های ماسکینگام و آت-کین اصلاح شده در روندیابی‌سیل در حوزه بابل‌رود، معادله ماسکینگام را مدلی کارآتر معرفی می‌نمود، زیرا هیدروگراف تخمینی بدست آمده از معادله ماسکینگام بیشترین تطابق را با هیدروگراف خروجی داده‌های مشاهداتی دارد. عباسی‌زاده (۱) در ارزیابی کارآیی روش‌های روندیابی سیل در رودخانه دز به ترتیب روش‌های کانوکس (گرافیکی)، ماسکینگام (لوپ)، آت-کین و کانژ را دارای دقت بیشتری نسبت به یکدیگر می‌داند. هدف از این پژوهش دستیابی به روشی با کارایی بالا از بین روش‌های مختلف روندیابی در رودخانه تالار می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی منطقه

حوزه آبخیز تالار در استان مازندران واقع شده و از سمت شرق به حوزه آبخیز رودخانه تجن و از سمت شمال‌شرق به سیاه‌رود، از شمال به دریای خزر و از غرب و شمال غرب به حوزه آبخیز بابل‌رود و از جنوب‌غرب به حوزه آبخیز رودخانه هراز و از سمت جنوب به حوزه آبخیز داخلی دشت کویر محدود می‌گردد. حوزه مورد مطالعه از ″۲۲/۲ ′۳۵ °۵۲ الی ″۳۴/۱۹ ′۲۳ °۵۳ طول جغرافیایی شرقی و از ″۲۳/۰۶ ′۴۴ °۳۵ الی ″۱/۶ ′۱۹ °۳۶ عرض جغرافیایی شمالی گسترش دارد (شکل ۱). در حوزه آبخیز تالار یک رودخانه اصلی و ۵ رودخانه فرعی وجود دارد که هر کدام از زیرشاخه‌های متعددی تشکیل می‌شوند. طول آبراهه اصلی (رودخانه تالار) حدود ۱۵۱/۷۷ کیلومتر است که از جنوب و جنوب غربی حوزه سر منشاء می‌گیرد و از شمال‌غربی حوزه خارج می‌گردد. البته در این تحقیق حد فاصل پل‌سفید تا شیرگاه از این حوزه انتخاب شده است که طول این بازه در حدود ۲۸/۵ کیلومتر می‌باشد.



شکل ۱- نمایی از موقعیت حوزه مورد مطالعه (حد فاصل پل سفید- شیرگاه) در استان و کشور

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

روش های هیدرولوژیکی مورد استفاده

در این تحقیق هیدروگراف‌های سیلاب‌های در نظر گرفته شده در ایستگاه پل‌سفید (ورودی) با استفاده از روش‌های مختلف تعیین ضرایب مدل‌ها، روندیابی گردید و مقادیر بدست آمده با نتایج مشاهداتی ایستگاه شیرگاه (خروجی) مورد مقایسه قرار گرفت.

روش آت-کین اصلاح شده[1]

در این روش چنانچه معادله پیوستگی به ازای Q_{o2} حل شود خواهیم داشت:

$$Q_{o2} = \frac{2\Delta t}{2K+\Delta t} Q_{i1} + \left(1 - \frac{2\Delta t}{2K+\Delta t}\right) Q_{o1} \qquad (۱)$$

مقدار $\frac{2\Delta t}{2K+\Delta t}$ برابر C_m فرض شده و به آن ضریب آت-کین گفته می‌شود. بنابراین:

$$Q_{o2} = C_m Q_{i1} + (1 - C_m) Q_{o1} \qquad (۲)$$

برای بدست‌آوردن مقدار K از رابطه $K = \frac{L}{mV}$ استفاده می‌گردد که در آن L طول مسیر همگن رودخانه (بازه) به متر، Vسرعت متوسط آب به متر بر ثانیه و m ضریب معادله می‌باشد. به منظور تعیین مقدار m، براساس رابطه (Q=A.V)، برای هر مقطع از رودخانه می‌توان رابطه‌ای بین دبی و سطح مقطع، به شکل زیر برقرار ک د:

$$Q = xA^m \qquad (۳)$$

با در نظر گرفتن معادله مانینگ و قرار دادن $\frac{A}{P}$ به جای شعاع هیدرولیکی، خواهیم داشت.

$$Q = \frac{1}{n} R_h^{\frac{2}{3}} A s^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n}\left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} A s^{\frac{1}{2}} = \frac{s^{\frac{1}{2}} A^{\frac{5}{3}}}{n P^{\frac{2}{3}}} \qquad (۴)$$

از مقایسه این رابطه و معادله $Q = xA^m$ داریم:

$$x = \frac{s^{\frac{1}{2}}}{n\, p^{\frac{2}{3}}} \qquad (۵)$$

$$m = \frac{5}{3} \qquad (۶)$$

که s شیب رودخانه برحسب متر به متر، n ضریب زبری مانینگ و P محیط خیس‌شده می‌باشد. در عمل ابتدا رابطه‌ای را بین سطح مقطع و دبی جریان، $(Q = xA^m)$ برقرار ساخته و مقادیر x و m را بدست می‌آورند. سپس با استفاده از معادله آت-کین، دبی خروجی را در زمان‌های مختلف برآورد کرده و هیدروگراف خروجی از بازه را بدست می‌آورند. این هیدروگراف هنگامی صحیح است که شرط زیر در آن برقرار باشد.

$$\Delta t_p < \Delta t_{ps} \qquad (۷)$$

Δt_{ps} فاصله زمانی بین زمان تا اوج هیدروگراف‌های خروجی و ورودی می‌باشد که براساس رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta t_{ps} = t_{po} - t_{pi} \qquad (۸)$$

که درآن t_{po} زمان تا اوج هیدروگراف خروجی و t_{pi} زمان تا اوج هیدروگراف‌های ورودی می‌باشد همچنین Δt_p زمان پیمایش جنبشی[2] نامیده می‌شود و بر اساس رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta t_p = \frac{\frac{S_{po}}{Q_{po}}\left[\frac{\left(\frac{Q_{Pi}}{Q_{Po}}\right)^{\frac{1}{m}} - 1}{\left(\frac{Q_{Pi}}{Q_{Po}}\right) - 1}\right]}{3600} \qquad (۹)$$

در این رابطه، Q_{po} و Q_{Pi} به ترتیب دبی اوج هیدروگراف خروجی و ورودی بازه مورد نظر بوده و S_{po} از رابطه زیر تعیین می گردد:

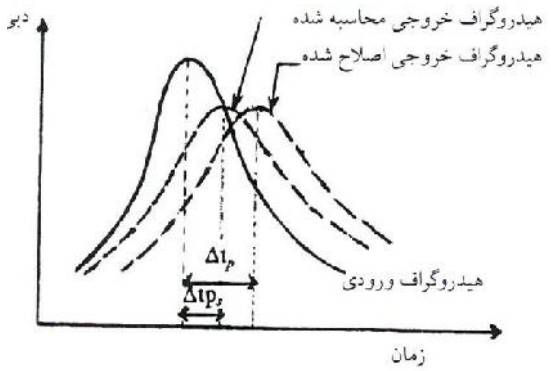
1- Modified Att–Kin Method

2- Kinematic travel time

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

$$S_{Po} = \left(\frac{Q_{Po}}{\acute{K}}\right)^{\frac{1}{m}} \qquad (۱۰)$$

در این رابطه $\acute{K}$ از رابطه $(K = \frac{x}{L^n})$ بدست می‌آید. چنانچه $\Delta t_p > \Delta t_{ps}$ باشد برای تصحیح هیدروگراف خروجی، می‌بایست آنرا به اندازه $(\Delta t_p - \Delta t_{ps})$ در جهت مثبت محور xها (محور زمان) انتقال داد. در شکل (۲)، زمان های اشاره شده در این قسمت روی هیدروگراف ورودی و خروجی و نیز خروجی تصحیح شده، مشخص گردیده‌اند.



شکل ۲- نمایش فواصل زمانی مختلف در روش آت-کین اصلاح شده (۱۰)

روش ماسکینگام[1]

بهترین و معمول ترین روش مورد استفاده در روندیابی هیدرولوژیکی رودخانه روش ماسکینگام می‌باشد (۶). در واقع جهت تعیین مقدار Q_{o2} از طریق رابطه ماسکینگام به شکل زیر عمل کرده و از رابطه (۱۱) پیروی می‌کنیم.

$$Q_{o2} = -\frac{(Kx - 0.5\Delta t)}{(K - Kx + 0.5\Delta t)}Q_{i2} + \frac{(Kx + 0.5\Delta t)}{(K - Kx + 0.5\Delta t)}Q_{i1} + \frac{(K - Kx - 0.5\Delta t)}{(K - Kx + 0.5\Delta t)}Q_{o1} \qquad (۱۱)$$

که آنرا می‌توان بصورت ساده زیر نمایش داد:

$$Q_{o2} = C_1Q_{i2} + C_2Q_{i1} + C_3Q_{o1} \qquad (۱۲)$$

باید توجه داشت که مقدار K و Δt واحد زمانی مشابهی دارند و مجموع ضرایب C_1، C_2 و C_3 برابر واحد می باشد.

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \qquad (۱۳)$$

البته در عمل می‌توان ضرایب C_1 و C_2 را محاسبه کرده و سپس از رابطه $C_3 = 1 - (C_1 + C_2)$، مقدار C_3 را بدست می آورد. دامنه مناسب برای Δt نیز بصورت زیر می باشد:

$$\frac{K}{3} \le \Delta t \le K \qquad (۱۴)$$

البته از آنجایی که K زمان مورد نیاز برای طی کردن یک المان موج سیل در رودخانه است، مقدارش را می‌توان از مشاهده مدت زمان طی شده اوج سیل در رودخانه تخمین زد (۵).

1- Muskingum Method

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

روش‌های محاسبه ضرایب ماسکینگام

الف- روش استفاده از شیب و سطح مقطع کانال

یکی از راه‌های بدست آوردن مقدار x، از برقراری رابطه‌ای به شکل ($Q = xA^m$) بین دبی و سطح مقطع و استفاده از رابطه مانینگ می‌باشد. در این روش با داشتن محیط خیس شده برای یک دبی مشخص، ضریب زبری مانینگ و شیب بازه مورد نظر پارامتر x با توجه به رابطه زیر بدست می‌آید (۱۰).

$$x = \frac{1}{n} s^{\frac{1}{2}} P^{-\frac{2}{3}} = \frac{s^{\frac{1}{2}}}{n P^{\frac{2}{3}}} \qquad (۱۵)$$

در این رابطه، x ضریب رابطه ماسکینگام، s شیب سطح آب رودخانه، n ضریب زبری مانینگ و P محیط خیس شده می‌باشد.

ب- روش استفاده از سرعت متوسط جریان

با توجه به روابط زیر مقادیر x و K بدست می‌آید. که در آن L طول بازه و V سرعت متوسط جریان است.

$$x = \frac{0.5\,V}{1.7+V} \qquad (۱۶)$$

$$K = \frac{L}{V} \qquad (۱۷)$$

مقدار x هنگام عبور موج سیل از مخزن یک سد در حالتی که سطح آب افقی فرض می‌شود برابر صفر بوده و در حالتی که حرکت موج سیل در رودخانه به صورت کاملا یکنواخت است مقدار x برابر ۰/۵ می‌باشد بنابراین حدود تغییرات x بین صفر تا ۰/۵ می‌باشد (۱۰).

انتخاب بهترین روش روندیابی

از مقایسه هیدروگراف‌های مشاهده‌ای ایستگاه شیرگاه (خروجی) و هیدروگراف‌های محاسباتی حاصل از مدل‌های مختلف ذکر شده در خروجی و با استفاده از شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین یا مجذور ضریب همبستگی بهترین روش انتخاب ضرایب برای هر مدل تعیین گردید و همچنین بهترین روش روندیابی مشخص گردید. این روش‌ها توسط ASCE[1] توصیه شده است. روش‌های مذکور تحت عنوان معیارهای ارزیابی مدل‌های حوزه آبخیز می‌باشد که برای بررسی وقایع مرکب (هیدروگراف مرکب) و وقایع منفرد (هیدروگراف ساده) می‌باشد. طراحان این روش استفاده از آنها را برای مدل‌هایی که به تجزیه و تحلیل جریان متغیر تدریجی (هیدروگراف سیلاب) می‌پردازد پیشنهاد کردند (۱۷). بر این اساس هرچه میزان ضریب تعیین به یک نزدیکتر باشد و مجذور میانگین مربعات خطا[2] به صفر میل کند مدل از نظر آماری قابل قبول‌تر است (۱۵). در تحقیق حاضر از فرمول‌های (۱۸) و (۱۹) برای مقایسه کمی بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر تخمینی هیدروگراف استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (Q_o - Q_e)^2}{n}} \qquad (۱۸)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum(Q_o Q_e) - \frac{(\sum Q_o)(\sum Q_e)}{n}\right)^2}{\left(\sum(Q_o^2) - \frac{(\sum Q_o)^2}{n}\right)\left(\sum(Q_e^2) - \frac{(\sum Q_e)^2}{n}\right)} \qquad (۱۹)$$

نتایج و بحث

نتایج مربوط به روش آت-کین اصلاح شده

در این روش قبل از هر کاری ابتدا باید ضریب آت-کین تعیین گردد. با توجه به این که ضریب آت-کین از رابطه $\frac{2\Delta t}{2k+\Delta t}$ بدست

1- American Society of Civil Engineering

2- Root Mean Square Error

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

می‌آید، کافی است پارامترهای k و Δt را داشته تا بتوان ضریب معادله آت-کین را محاسبه کرده و آنرا در رابطه (۲) قرار داده و دبی‌های خروجی را محاسبه کرد. مقادیر مربوط به ضریب آت-کین در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مقادیر ضریب آت-کین اصلاح شده در رودخانه تالار

تاریخ سیلاب	دبی ورودی مبنا (Qi)	مساحت سطح خیس شده به متر مربع (A)	سرعت متوسط جریان (V)	طول بازه به متر (L)	زمان پیمایش ($k = \frac{L}{m.V}$) (hr)	ضریب آت-کین (C_m)
۱۳۸۳/۱/۱۷	۳۷	۱۶/۷۸	۲/۲۰۵	۲۸۵۰۰	۲/۱۵	۰/۳۷۷
۱۳۸۳/۱۲/۳	۱۸/۶	۱۰/۰۵	۱/۸۵	۲۸۵۰۰	۲/۵۶	۰/۳۲۷
۱۳۸۶/۱۱/۳۰	۱۴/۹	۶/۳۷	۲/۳۴	۲۸۵۰۰	۲/۰۳	۰/۳۹۵
۱۳۸۷/۹/۱۲	۱۰/۹	۶/۳۳	۱/۷۲	۲۸۵۰۰	۲/۷۶	۰/۳۰۷
۱۳۸۸/۱/۱۴	۱۲/۶	۷/۲۳	۱/۷۴	۲۸۵۰۰	۲/۷۲	۰/۳۱
۱۳۸۸/۶/۲۷	۸/۴۲	۵/۶۸	۱/۴۸	۲۸۵۰۰	۳/۲	۰/۲۷
۱۳۸۹/۱/۲۱	۷/۳۳	۳/۹	۱/۸۸	۲۸۵۰۰	۲/۵۲	۰/۳۳۱
۱۳۸۸/۱۲/۴	۱۶/۹	۹/۰۳	۱/۸۷	۲۸۵۰۰	۲/۵۳	۰/۳۳

با استفاده از این ضرایب ابتدا دبی‌های خروجی مربوط به هر واقعه را بدست آورده سپس بر اساس آنها هیدروگراف هر سیلاب تهیه گردید. اما هیدروگراف‌هایی که به روش آت-کین محاسبه شده‌اند هنگامی صحیح می‌باشند که شرط معادله ($\Delta t_p < \Delta t_{ps}$) در آنها برقرار باشد.

همان طور که قبلا توضیح داده شد Δt_{ps} فاصله زمانی بین زمان تا اوج هیدروگراف‌های خروجی و ورودی می‌باشد و Δt_p زمان پیمایش جنبشی نامیده می‌شود.

با توجه به شرط معادله آت- کین و بررسی آن، از بین هشت هیدروگراف محاسبه‌ای به روش آت-کین، پنج مورد از این شرط پیروی کرده و سه مورد نیز شرط معادله درباره آنها برقرار نمی‌باشد یعنی ($\Delta t_p > \Delta t_{ps}$) است. در این صورت برای تصحیح هیدروگراف خروجی محاسبه‌ای باید آن را به اندازه ($\Delta t_p - \Delta t_{ps}$) در جهت مثبت محور xها (محور زمان) انتقال داد. محاسبات مربوط به شرط معادله آت-کین اصلاح‌شده در جدول ۲ آمده است. در این جدول t_{po} زمان تا اوج هیدروگراف خروجی و t_{pi} زمان تا اوج هیدروگراف ورودی برحسب ساعت می‌باشد که برای تعیین مقدار Δt_{ps} بکار برده می‌شود. Q_{po} و Q_{pi} به ترتیب دبی اوج هیدروگراف خروجی و ورودی بازه مورد نظر بر حسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

جدول ۲- محاسبات بررسی شرط معادله آت- کین اصلاح شده

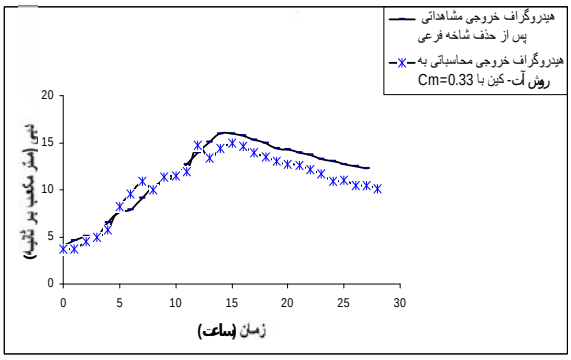
تاریخ سیلاب	(t_{po})	(t_{pi})	(Q_{po})	(Q_{pi})	X	k	(S_{po})	(Δt_p)	(Δt_{ps})
۱۳۸۳/۱/۱۷	۳۱	۲۳	۱۳/۱۲	۳۷	۰/۳۴	$۲/۵۳\times۱۰^{-۸}$	۲۷۹۷۸۷/۲۳	۲/۹۶۸	۸
۱۳۸۳/۱۲/۳	۲۳	۸	۱۹/۶	۱۸/۶	۰/۳۶	$۲/۶۸\times۱۰^{-۸}$	۳۴۶۷۹۷/۳۷	۲/۹۴۹	۱۵
۱۳۸۶/۱۱/۳۰	۱۶	۱۴	۱۴/۷۱۶	۱۴/۹	۰/۵۹	$۴/۳۹۶\times۱۰^{-۸}$	۲۱۲۷۹۳/۱۰۹	۲/۶۱	۲
۱۳۸۷/۹/۱۲	۱۵	۹	۷/۳۵۳	۱۰/۹	۰/۴۸۶	$۳/۶۲۱\times۱۰^{-۸}$	۱۵۵۶۹۴/۲۳۳	۳/۴	۶
۱۳۸۸/۱/۱۴	۲۶	۱۸	۹/۴۵	۱۲/۶	۰/۴۶۶	$۳/۴۷۲\times۱۰^{-۸}$	۱۸۶۹۷۴/۵۷۶	۳/۲۵	۸
۱۳۸۸/۶/۲۷	۱۰	۸	۸/۳۳۵	۸/۴۲	۰/۴۶۹	$۳/۴۹\times۱۰^{-۸}$	۱۷۲۳۰۵/۸۸۵	۳/۶۷	۲
۱۳۸۹/۱/۲۱	۹	۷	۵/۰۷۶	۷/۳۳	۰/۷۶	$۵/۶۶۳\times۱۰^{-۸}$	۹۳۳۸۹/۲۵۴	۲/۹۷	۲
۱۳۸۸/۱۲/۴	۱۴	۶	۱۶	۱۶/۹	۰/۴۰۱	$۲/۹۸۸\times۱۰^{-۸}$	۲۸۵۴۰۵/۳۵۶	۳/۰۹۶	۸

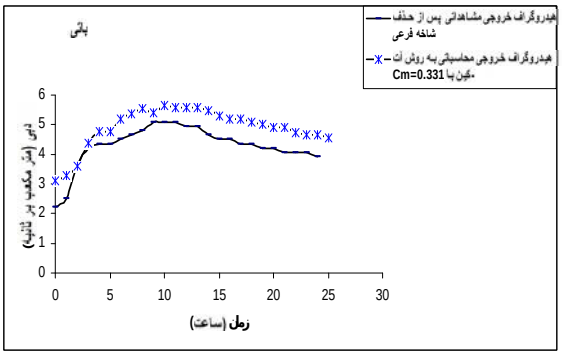
همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌گردد در سه مورد، در تاریخ‌های ۱۳۸۶/۱۱/۳۰، ۱۳۸۸/۶/۲۷ و ۱۳۸۹/۱/۲۱ شرط معادله آت-کین برقرار نمی‌باشد، بنابراین برای تصحیح این هیدروگراف‌های خروجی محاسباتی، باید آنها را به اندازه $(\Delta t_p - \Delta t_{ps})$ در جهت مثبت محور xها انتقال داد. همچنین جدول ۳ مقادیر RMSE و R را برای دبی‌های خروجی محاسباتی به روش آت-کین نمایش می‌دهد. هیدروگراف‌های دو تاریخ در شکل ۳ آورده شده است.

جدول ۳- مقادیر RMSE و R^2 برای هیدروگراف‌های خروجی محاسباتی به روش آت-کین

شماره سیلاب	تاریخ سیلاب	RMSE مجذور میانگین مربعات خطا	(R^2) ضریب تعیین
۱	۱۳۸۳/۱/۱۷	۳/۴۰۲	۰/۴۶۵
۲	۱۳۸۳/۱۲/۳	۰/۹۵۹	۰/۸۹۲
۳	۱۳۸۶/۱۱/۳۰	۲/۵۵۹	۰/۹۶۸
۴	۱۳۸۷/۹/۱۲	۰/۸۷۱	۰/۷۵۸
۵	۱۳۸۸/۱/۱۴	۰/۵۸۰	۰/۵۰۱
۶	۱۳۸۸/۶/۲۷	۰/۷۶۷	۰/۹۶۲
۷	۱۳۸۹/۱/۲۱	۰/۶۶۳	۰/۹۰۶
۸	۱۳۸۸/۱۲/۴	۱/۳۱۳	۰/۹۴۵

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]





شکل ۳- هیدروگراف خروجی مشاهده ای و محاسباتی به روش آت- کین به ترتیب از راست به چپ در تاریخ های ۱۳۸۸/۱۲/۴ و ۱۳۸۹/۱/۲۱

روش‌های تعیین ضرایب معادله ماسکینگام:

از دو روش $x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{2}{3}}}$ و روش سرعت متوسط جریان $\left(x = \frac{0.5v}{v+1.7}\right)$، استفاده شده و ضرایب معادله ماسکینگام محاسبه گردید. سپس هیدروگراف‌های خروجی مربوط به هر روش (برای ۸ سیل نمونه) محاسبه شد.

استفاده از فرمول تجربی $x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{2}{3}}}$ جهت تعیین ضرایب ماسکینگام

در این روش ابتدا مقدار x با توجه به ویژگی‌های فیزیکی رودخانه محاسبه شد و سپس به کمک آن مقادیر C_1، C_2 و C_3 یا همان ضرایب معادله ماسکینگام جهت روندیابی محاسبه گردید. لازم به ذکر است که در تهیه ضرایب معادله ماسکینگام علاوه بر x، پارامتر دیگری بنام ضریب k نیز باید محاسبه گردد. ضریب k از رابطه $(k = \frac{L}{V})$ بدست می‌آید و برحسب ساعت می‌باشد. همچنین مقدار V نیز با داشتن مقادیر دبی مبنا و مساحت با جایگذاری در رابطه $(Q = A.V)$ بدست خواهد آمد.

جدول ۴ ضرایب معادله ماسکینگام که با کمک فرمول تجربی شیب و سطح مقطع $(x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{2}{3}}})$ بدست آمده را نشان می‌دهد.

جدول ۴- مقادیر x و k و ضرایب معادله ماسکینگام

تاریخ سیلاب	$(x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{2}{3}}})$	$(k = \frac{L}{V})$ (برحسب ساعت)	C1	C2	C3
۱۳۸۳/۱/۱۷	۰/۳۴۱	۳/۵۹	-۰/۲۵۳	۰/۶۰۲	۰/۶۵۱
۱۳۸۳/۱۲/۳	۰/۳۶۴	۴/۲۸	-۰/۳۲۸	۰/۶۳۹	۰/۶۸۹
۱۳۸۶/۱۱/۳۰	۰/۵۸۸	۳/۳۸	-۰/۷۸۶	۱/۳۱۴	۰/۴۷۲
۱۳۸۷/۹/۱۲	۰/۴۹	۴/۶۰۳	-۰/۶۱۷	۰/۹۶۸	۰/۶۴۹
۱۳۸۸/۱/۱۴	۰/۴۷	۴/۵۴۹	-۰/۵۶۲	۰/۹۰۶	۰/۶۵۶
۱۳۸۸/۶/۲۷	۰/۴۷	۵/۳۴۹	-۰/۶۰۴	۰/۹۰۴	۰/۷
۱۳۸۹/۱/۲۱	۰/۴۹	۴/۲۱۱	-۰/۵۹	۰/۹۶۸	۰/۶۲۲
۱۳۸۸/۱۲/۴	۰/۴	۴/۲۳۴	-۰/۳۹۲	۰/۷۲۱	۰/۶۷۱

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

جدول ۵ نیز مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین (مجذور ضریب همبستگی) را برای هیدروگراف خروجی محاسبه‌ای که با استفاده از روش فرمول تجربی $x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{2}{3}}}$ در رابطه ماسکینگام بدست آمده‌اند را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر RMSE و R^2 برای هیدروگراف های خروجی محاسباتی به روش $x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{2}{3}}}$ در رابطه ماسکینگام

تاریخ سیلاب	مقدار RMSE	مقدار R^2
۱۳۸۳/۱/۱۷	۳/۸۷۲	۰/۳۹۴
۱۳۸۳/۱۲/۳	۰/۹۱۱	۰/۸۹۱
۱۳۸۶/۱۱/۳۰	۳/۶۹۲	۰/۸۵۸
۱۳۸۷/۹/۱۲	۰/۹۱۸	۰/۶۳۶
۱۳۸۸/۱/۱۴	۰/۹۲۴	۰/۴۶۹
۱۳۸۸/۶/۲۷	۰/۸۶۰	۰/۸۸۵
۱۳۸۹/۱/۲۱	۰/۷۷۸	۰/۸۴۲
۱۳۸۸/۱۲/۴	۱/۵۷۷	۰/۹۰۸

استفاده از روش سرعت متوسط جریان ($x = \frac{0.5V}{V+1.7}$) جهت تعیین ضرایب ماسکینگام

در این روش مقدار x برای وقایع سیلابی مختلف با توجه به سرعت متوسط جریان رودخانه محاسبه شد و سپس به کمک آن مقادیر C_1، C_2 و C_3 یا ضرایب معادله ماسکینگام جهت روندیابی محاسبه گردید. جدول (۶) مقادیر مربوط به x که از طریق رابطه سرعت متوسط جریان محاسبه می‌گردد و k و ضرایب معادله ماسکینگام را نشان می‌دهد.

جدول ۶- مقادیر x و k و ضرایب معادله ماسکینگام

تاریخ سیلاب	$(x = \frac{0.5V}{V+1.7})$	$(k = \frac{L}{V})$ (برحسب ساعت)	C1	C2	C3
۱۳۸۳/۱/۱۷	۰/۲۸۲	۳/۵۹	-۰/۱۶۶	۰/۴۹۱	۰/۶۷۵
۱۳۸۳/۱۲/۳	۰/۲۶	۴/۲۸	-۰/۱۶۷	۰/۴۴	۰/۷۲۷
۱۳۸۶/۱۱/۳۰	۰/۲۸۹	۳/۳۸	-۰/۱۶۴	۰/۵۰۹	۰/۶۵۵
۱۳۸۷/۹/۱۲	۰/۲۵۱	۴/۶۰۳	-۰/۱۶۶	۰/۴۱۹	۰/۷۴۷
۱۳۸۸/۱/۱۴	۰/۲۵۳	۴/۵۴۹	-۰/۱۶۷	۰/۴۲۴	۰/۷۴۳
۱۳۸۸/۶/۲۷	۰/۲۳۳	۵/۳۴۹	-۰/۱۶۲	۰/۳۷۹	۰/۷۸۳
۱۳۸۹/۱/۲۱	۰/۲۶۲	۴/۲۱۱	-۰/۱۶۷	۰/۴۴۴	۰/۷۲۳
۱۳۸۸/۱۲/۴	۰/۲۶۱	۴/۲۳۳	-۰/۱۶۶	۰/۴۴۲	۰/۷۲۴

جدول ۷ مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین (مجذور ضریب همبستگی) را برای هیدروگراف خروجی محاسبه‌ای با استفاده از روش سرعت متوسط

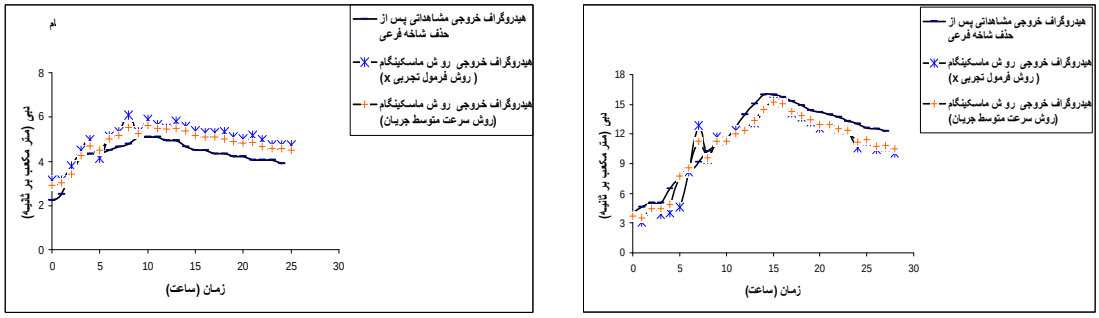
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

جریان ($x = \frac{0.5V}{V+1.7}$) در رابطه ماسکینگام نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقادیر RMSE و R^2 برای هیدروگراف های خروجی محاسباتی به روش $x = \frac{0.5V}{V+1.7}$ در رابطه ماسکینگام

شماره سیلاب	تاریخ سیلاب	مقدار RMSE	مقدار R^2
۱	۱۳۸۳/۱/۱۷	۳/۳۸۳	۰/۴۰۶
۲	۱۳۸۳/۱۲/۳	۰/۸۲۳	۰/۹۱۳
۳	۱۳۸۶/۱۱/۳۰	۲/۳۲۲	۰/۹۶۴
۴	۱۳۸۷/۹/۱۲	۰/۶۶۶	۰/۸۳۵
۵	۱۳۸۸/۱/۱۴	۰/۷۸۴	۰/۵۲۰
۶	۱۳۸۸/۶/۲۷	۰/۶۴۳	۰/۹۴۳
۷	۱۳۸۹/۱/۲۱	۰/۵۵۹	۰/۹
۸	۱۳۸۸/۱۲/۴	۱/۱۴۳	۰/۹۵۶

در ادامه بطور نمونه هیدروگراف‌های مربوط به تاریخ‌های ۱۳۸۸/۱۲/۴ و ۱۳۸۹/۱/۲۱ که از طریق رابطه ماسکینگام و با استفاده از روش‌های سرعت متوسط جریان و فرمول تجربی شیب و سطح مقطع بدست آمده‌اند تهیه گردید (شکل ۴).



شکل ۴- هیدروگراف های خروجی مشاهداتی و محاسباتی با استفاده از روش‌های مختلف تخمین ضرایب معادله ماسکینگام برای سیلاب‌های (به ترتیب از راست به چپ) ۱۳۸۸/۱۲/۴ و ۱۳۸۹/۱/۲۱

همان طور که توضیح داده شد برای حل مسائل مربوط به روند سیل، معمولا از دو روش هیدرولیکی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود که در این تحقیق از روش‌های هیدرولوژیکی برای روندیابی سیل استفاده گردید (۱۴). از معایب این روش دقت پایین آن نسبت به روش هیدرولیکی می‌باشد. اما از مزایای مدل‌های هیدرولوژیکی می‌توان به سادگی و سهولت آن نسبت به روش هیدرولیکی اشاره کرد. ضمن این که اگرچه دقت این روش نسبت به روش‌های هیدرولیکی پایین‌تر است اما برای انجام فعالیت‌هایی مثل کنترل سیل، پهنه بندی سیل، طراحی سازه و ... از اطمینان قابل قبولی برخوردار است. از مزایای دیگر روش هیدرولوژیکی می‌توان به سرعت بالای این روش نسبت به روش هیدرولیکی اشاره کرد بدین معنی که روش هیدرولیکی زمانبرتر از روش هیدرولوژیکی می‌باشد (۱۶).

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

با توجه به این که هرچه مقدار RMSE به صفر نزدیکتر باشد و هرچه مقدار R^2 به یک نزدیکتر باشد مدل از نظر آماری قابل قبول‌تر است لذا بر اساس مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و مجذور ضریب همبستگی یا ضریب تعیین، از بین روش‌های استفاده شده برای تخمین ضرایب ماسکینگام روش سرعت متوسط مناسب‌تر از روش شیب- سطح مقطع می‌باشد. در واقع رابطه ماسکینگامی که ضرایب آن با کمک رابطه سرعت متوسط جریان ($C = \frac{0.5V}{V+1.7}$) بدست می‌آید دارای دبی و هیدروگراف خروجی نزدیکتر و شبیه‌تری به هیدروگراف خروجی مشاهداتی می‌باشد.

همچنین با توجه به جداول ۳، ۵ و ۷ و با در نظر گرفتن مقادیر RMSE و R^2 روش آت-کین در مقایسه با روش ماسکینگام (سرعت متوسط) از دقت کمتری و در مقایسه با روش ماسکینگام ($x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{nP^{\frac{2}{3}}}$) از کارآیی بالاتری برخوردار است (جدول ۸).

جدول ۸- ترتیب معادلات استفاده شده در تحقیق از کارآترین تا معادله با کارآیی پایین

روش های روندیابی	مقادیر RMSE	مقادیر R^2
ماسکینگام (سرعت متوسط)	۰/۵۵۹	۰/۹
آت- کین	۰/۵۸۰	۰/۵۰۱
ماسکینگام ($x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{nP^{\frac{2}{3}}}$)	۰/۷۷۸	۰/۸۴۲

بنابراین همان طور که مشاهده می گردد نتایج این تحقیق با غالب تحقیقات صورت گرفته در این زمینه هم‌خوانی دارد و بطور مثال می‌توان ذکر کرد که آقایان برکهد و جیمز (۳) در رودخانه سابیه واقع در آفریقای جنوبی، عبدالشاه‌نژاد (۲) در رودخانه کارون و قاسمیه (۸) در بابل‌رود پس از انجام تحقیقات به نتیجه مشابه با این تحقیق رسیدند و دریافتند که روش ماسکینگام نسبت به روش‌های دیگر از کارآیی بالاتری برخوردار است. اما عباسی‌زاده (۱) در رودخانه دز از بین روش‌ها و مدل‌های مختلف روش کانوکس را بعلت داشتن کمترین RMSE روش با کارآیی بالا معرفی کرد که با نتیجه بدست آمده در این تحقیق متفاوت است. همچنین فرانچینی و همکاران (۷) در برآورد دبی در خروجی بازه رودخانه تیبر (ایتالیا) از طریق روش‌های ماسکینگام دریافتند که مدل ماسکینگام-کانژ نسبت به سایر روش‌ها برای برآورد دبی‌ها در پایین‌دست رودخانه از کارآیی بالاتری برخوردار است (۷).

تشکر و قدردانی

در این تحقیق از آقای مهندس خدابخشی، آقای مهندس امیری و خانم مهندس محبوبی که در دسترسی به داده‌ها و پیشبرد تحقیق کمک کردند، کمال تقدیر و تشکر را داریم.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

منابع

1. Abbasizadeh, M. 2009. Evaluation of efficiency flood routing methods (Case study: Dez River), PhD Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, 189 pp. (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. Birkhead, A. L. and C.S. James. 1998. Synthesis of rating curves from local stage and remote discharge monitoring nonlinear muskingum routing. Journal of Hydrology, 205: 52-65.
4. Birkhead, A.L. and C.S. James. 2002. Muskingum river routing with dynamic bank Storage. Journal of Hydrology, 264: 113-132.
5. Behbahani, S.M. 2001. Surface water hydrology. 2nd edn. Tehran University Press. 484 pp. (In Persian)
6. Choudhury, M. and R.K.S. Shrivasta. 2002. Flood routing in river network using equivalent Muskingum inflow. Journal of Hydraulic Engineering, 7(6): 413-419.
7. Franchini, M., A. Bernini, S. Barbetta and T. Moramerco. 2011. Forecasting discharges at the downstream end of a river reach through two simple Muskingum based procedures. Journal of Hydrology, 399: 335-352.
8. Gasemieh. H. 2005. Evaluation of the efficiency of Muskingum and modified Att-Kin methods in flood routing (Case Stady: Babolrood watershed). MSc Thesis, Sari Agricultural Science & Natural Resources University, 109 pp. (In Persian)
9. Kumar, D.N., F.B. Sing and K.S. Raju. 2011. Extended Muskingum method for flood routing. Journal of Hydro-Environment Reasearch. 1-9 pp.
10. Mahdavi, M. 2007. Applied Hydrology. Vol 2. 2nd edn. Tehran University Press. 394 pp. (In Persian)
11. Najmaee, M. 1989. Engineering hydrology. Vol 1. Iran University of Science and Technology Press. 411pp. (In Persian)
12. Najmaee, M. 1989. Engineering hydrology. Vol 2. Iran University of Science and Technology Press. 608 pp. (In Persian)
13. Ponce, V.M., A.K. Lahai and C. Scheyhim. 1996. Analytical verification of Muskingum-Cunge routing. Journal of Hydrology, 176: 235-241.
14. Simafar, Sh. 1995. Engineering hydrology. Vol 3. Sahand University Press. 423 pp. (In Persian)
15. Szilagyi, J., G. Balinet, B. Gouzer and P. Bartha. 2005. Flow routing with unknown rating curves using a state-space reservoir-cascade-type formulation. Journal of Hydrology, 311: 219-229.
16. Von Beloh, W., S. Rost and W. Lucht. 2010. Efficient paralleization of a dynamic global vegetation model with river routing. Environmental Modeling & Software, 25: 685-690.
17. Zhang, S., I. Cordery and A. Sharma. 2002. Application of an improved linear storage routing model for the estimation of large floods. Journal of Hydrology, 258: 58-68.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]

Evaluation of Muskingum and Modified Att-Kin Methods Efficiency in Flood Routing (Case Study: Talar Watershed, Mazandaran Province)

Seyed Mohsen Manavi Amri[1], Arash Malekian[2], Kaka Shahedi[3] and Baharak Motamed Vaziri[4]

1- Former MSc Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran
(Corresponding author: sm_manavi1366@yahoo.com)
2- Assistant Professor, Tehran University
3- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
4- Assistant Professor, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran
Received: January 30, 2012 Accepted: April 17, 2012

Abstract

Predicting flood height changes in reservoirs and rivers is done by routing. one can also estimate the maximum amount of the flood in a moment regarding to the size of the flood through the dam and flow rate reduction down the river and according to it and also the degree of importance of installations downstream, preventive actions can be identified. Reviewing the flood routing is possible in two ways called hydraulic and hydrologic. Hydrologic method is less precise in compare to the hydraulic one, but hydrologic method can simply be applied and has reasonable results. These characteristics cause to use the hydrologic method for different purposes like flood control, flood zoning, structure design. In this study we used some hydrological methods like Modified Att-Kin method and Muskingum for routing in a part of watershed forum located in Mazandaran province between Pol-Sefid and Shirgah. In our study Muskingum with RMSE=0.559 and R^2=0.9 was more efficient than Att-Kin method.

Keywords: Routing, Modified Att-Kin method, Muskingum method, Talar watershed

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-07-07]