

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

سید محسن معنوی امری'، آرش ملکیان'، کاکا شاهدی ؓ و بهارک معتمد وزیری ٔ

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: ۹۰/۱۱/۱۹ ۲۰ تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱۹

چکیدہ

پیشبینی تغییر ارتفاع سیل در مخازن و رودخانهها ازطریق روندیابی صورت می گیرد. هم چنین می توان 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 می توان 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 از حوزه آبخیز تالار واقع در استان مازندران در حد فاصل پل سفید – شیرگاه استفاد شده است که از بین روشهای استفاده شده در این تحقیق روش ماسکینگام با ۵۵۹ و ۲۹ هید ستر به است که از بین روشهای استفاده شده در این تحقیق روش ماسکینگام با ۵۵/۰= RMSE

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

مقدمه

رواناب یا جریان آبراهه شامل حرکت ثقلی در آبراههها است. این آبراههها می توانند یک جویبار یا رودخانهای عظیم باشند. همانند آبراهه، رواناب به آورد رودخانه یا آبدهی یک آبخیز اطلاق می گردد. هر گاه شدت بارندگی از ظرفیت نگهداشت حوزه (نفوذ) Pouck flow-2-

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).

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 سیلاب رودخانههای مهم مهار شدهاند اما جوامع بشری و سرمایههای آنها وارد می سازد که حکایت از عدم مدیریت مناسب در کنترل سیل دارد.

از جمله موارد کنترل سیلاب میتوان به ساماندهی رودخانه<sup>۱</sup>، پهنهبندی سیلاب<sup>۲</sup>، پیشبینی سیلاب<sup>۳</sup> 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 بازگشت مورد نظر محاسبه گردد (۱). در این 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 3- Flood Forecasting 4- Flow routing

فروکش آن و تعیین تاثیرات احتمالی آبنمود ورودی جریان آب روندیابی جریان<sup>†</sup> 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 می کند (۱۱، ۱۲). روندیابی در پیش بینی سیل، طراحی

جامع منابع آب، طراحی مخازن پشت سد و شبیه سازی آبخیزها استفاده می گردد (۵). پونس و همکاران (۱۳)، به بررسی میزان كارآيى روش ماسكينگام-كانژ پرداختند و دريافتند كه تطابق زياد بين نتايج 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 می تواند 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

شده و از سمت شرق به حوزه آبخیز رودخانه تجن و از سمت شمال شرق به سیاه رود، 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 می گردد. حوزه مورد مطالعه از <sup>۳</sup>۲۲/۲ ۳۵<sup>°</sup> الى ٣٤/١٩٪ ٢٣ °٥٣ طول جغرافيايي شرقي و از ۴۴٬ ۲۳/۰۶ الی ۱/۶″ الی ۳۵٬ ۱۹۲ عرض جغرافیایی شمالی گسترش دارد (شکل ۱). در حوزه آبخيز تالار يک رودخانه اصلی و ۵ رودخانه فرعی وجود دارد که هر کدام از زیرشاخههای متعددی تشکیل میشوند. طول آبراهه اصلى (رودخانه تالار) حدود ١۵١/٧٧ کیلومتر است که از جنوب و جنوب غربی حوزه سر منشاء می گیرد و از شمالغربی حوزه خارج می گردد. البته در این تحقیق حد فاصل پل سفید تا شیر گاه از این حوزه انتخاب شده است که طول این بازه در حدود ۲۸/۵ کیلومتر می باشد.

ماسکینگام تطابق بیشتری با هیدروگراف خروجی مشاهده شده داشتند. قاسمیه (۸) در بررسی میزان کارآیی مدل های 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 مىداند. هدف از اين پژوهش دستيابى 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



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

$$x = \frac{s^{\frac{1}{2}}}{n p^{\frac{2}{3}}} \tag{(\Delta)}$$

$$m = \frac{5}{3} \tag{(?)}$$

که ۵ شیب رودخانه برحسب متر به متر، n ضریب زبری مانینگ و P محیط خیس شده میباشد. در عمل ابتدا رابطهای را بین سطح مقطع و دبی جریان، ( $(A^m) = Q$ ) برقرار ساخته و مقادیر x و m را بدست میآورند. سپس با استفاده از معادله آت-کین، دبی سپس با استفاده از معادله آت-کین، دبی این دروگراف خروجی از بازه را بدست میآورند. این هیدروگراف هنگامی صحیح است که شرط زیر در آن برقرار باشد. (۷)

 $\Delta t_{ps}$  فاصله زمانی بین زمان تا اوج هیدروگرافهای خروجی و ورودی میباشد که براساس رابطه زیر بدست میآید:  $\Delta t_{ps} = t_{po} - t_{pi}$  (A) که درآن  $t_{po}$  زمان تا اوج هیدروگراف خروجی و  $t_{pi}$  زمان تا اوج هیدروگرافهای ورودی میباشد همچنین  $\Delta t_p$  زمان پیمایش جنبشی<sup>۲</sup> نامیده میشود و بر اساس رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\Delta t_{p} = \frac{\frac{s_{po}}{Q_{po}} \left[ \frac{\left(\frac{Q_{Pi}}{Q_{Po}}\right)^{\frac{1}{m}} - 1}{\left(\frac{Q_{Pi}}{Q_{Po}}\right) - 1} \right]}{3600}$$
(9)

در این رابطه، Q<sub>po</sub> و Q<sub>Pi</sub> به ترتیب دبی اوج هیدروگراف خروجی و ورودی بازه مورد نظر بوده و S<sub>po</sub> از رابطه زیر تعیین می گردد:

1- Modified Att-Kin Method

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

مقدار 
$$rac{2\Delta t}{2K+\Delta t}$$
 برابر  $C_{
m m}$  فرض شده و به آن  
ضریب آت-کین گفته میشود. بنابراین:  
 $Q_{
m o2}=C_{
m m}Q_{
m i1}+(1-C_{
m m})Q_{
m o1}$  (۲)

 $K = \frac{L}{mV}$  برای بدست آوردن مقدار K از رابطه  $\frac{L}{mV}$  مسیر استفاده می گردد که در آن L طول مسیر همگن رودخانه (بازه) به متر، Vسرعت متوسط آب به متر بر ثانیه و m ضریب معادله می باشد. به منظور تعیین مقدار m، براساس رابطه به منظور تعیین مقدار م، براساس رابطه رابطه می توان رابطه می توان رابطه می برای هر مقطع از رودخانه می توان رابطه می بین دبی و سطح مقطع، به شکل زیر برقرار ک د:

با در نظر گرفتن معادله مانینگ و قرار دادن <sup>A</sup> به جای شعاع هیدرولیکی، خواهیم داشت.

$$Q = \frac{1}{n} R_{h}^{\frac{2}{3}} A s^{\frac{1}{2}} = \frac{1}{n} \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} A s^{\frac{1}{2}} = \frac{s^{\frac{1}{2}} A^{\frac{5}{3}}}{nP^{\frac{2}{3}}} \qquad (\texttt{f})$$

از مقایسه این رابطه و معادله  $Q = xA^m$  داریم: 2- Kinematic travel time

ارزیابی کارآیی روشهای ماسکینگام و آت کین اصلاح شده در روندیابی سیل .....

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

اندازه )  $\Delta - \Delta$  ( 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.

در این رابطه 
$$\hat{K}$$
 از رابطه ( $\frac{\pi}{L^{m}} = K$ ) بدست  
میآید. چنانچه  $\Delta t_{ps} < \Delta t_{p}$  باشد برای  
تصحیح هیدروگراف خروجی، می بایست آنرا به



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

در واقع جهت تعیین مقدار Q<sub>02</sub> از طریق رابطه ماسکینگام به شکل زیر عمل کرده و از رابطه (۱۱) پیروی میکنیم.

روش ماسکینگام' بهترین و معمول ترین روش مورد استفاده

در روندیابی هیدرولوژیکی رودخانه روش ماسکینگام میباشد (۶).

$$Q_{02} = -\frac{(Kx - 0.5\Delta t)}{(K - Kx + 0.5\Delta t)}Q_{12} + \frac{(Kx + 0.5\Delta t)}{(K - Kx + 0.5\Delta t)}Q_{11} + \frac{(K - Kx - 0.5\Delta t)}{(K - Kx + 0.5\Delta t)}Q_{01}$$
(11)

می آورد. دامنه مناسب برای  $\Delta t$  نیز بصورت زیر می باشد:  $\frac{K}{3} \le \Delta t \le K$  (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). که آنرا می توان بصورت ساده زیر نمایش داد:  $Q_{02} = C_1 Q_{i2} + C_2 Q_{i1} + C_3 Q_{01}$  (۱۲)  $Q_{02} = C_1 Q_{i2} + C_2 Q_{i1} + C_3 Q_{01}$  (۱۲)  $Q_{02} = C_1 Q_{02} + C_2 Q_{01} + C_3 Q_{01} + C_2 Q_{01} + C_3 Q_{01} + C_2 Q_{01}$ 

1- Muskingum Method

روشهای محاسبه ضرایب ماسکینگام الف- روش استفاده از شیب و سطح مقطع کانال

یکی از راههای بدست وردن 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 شده برای یک دبی مشخص، ضریب زبری مانینگ و شیب بازه مورد نظر پارامتر X با مانینگ و شیب بازه مورد نظر پارامتر X با توجه به رابطه زیر بدست میآید (۱۰).  $x = \frac{1}{n} s^{\frac{1}{2}} P^{-\frac{2}{3}} = \frac{s^{\frac{2}{3}}}{n^{\frac{2}{3}}}$ 

در این رابطه، x ضریب رابطه ماسکینگام، s شیب سطح آب رودخانه، n ضریب زبری مانینگ و P محیط خیس شده می باشد. ب - روش استفاده از سرعت متوسط جریان با توجه به روابط زیر مقادیر x و X بدست می آید. که در آن L طول بازه و V سرعت متوسط جریان است.

$$\mathbf{x} = \frac{1}{17 + V} \tag{19}$$

$$\mathbf{K} = \frac{1}{\mathbf{V}} \tag{14}$$

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 بهترين روش رونديابي

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 گرديد. اين روشها توسط ASCE' توصیه شده است. روشهای مذکور تحت عنوان معيارهاي ارزيابي مدلهاي حوزه آبخیز میباشد که برای بررسی وقایع مرکب (هیدروگراف مرکب) و وقایع منفرد (هيدرو گراف ساده) ميباشد. طراحان اين روش استفاده از آنها را برای مدلهایی که به تجزیه و تحلیل جریان متغیر تدریجی (هیدروگراف سیلاب) می پردازد پیشنهاد کردند (۱۷). بر این اساس هرچه میزان ضریب تعیین به یک نزدیکتر باشد و مجذور میانگین مربعات خطا به صفر میل کند مدل از نظر آماری قابل قبول تر است (۱۵). در تحقیق حاضر از فرمول های (۱۸) و (۱۹) برای مقایسه کمی بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر تخمینی هیدروگراف استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{1}^{n} (Q_{o} - Q_{e})^{2}}{n}}$$
(1A)

$$R^{2} = \frac{\left(\Sigma(Q_{o}Q_{e}) - \frac{(\Sigma Q_{o})(\Sigma Q_{e})}{n}\right)^{2}}{\left(\Sigma(Q_{o}^{2}) - \frac{(\Sigma Q_{o})^{2}}{n}\right)\left(\Sigma(Q_{e}^{2}) - \frac{(\Sigma Q_{e})^{2}}{n}\right)}$$
(19)

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 24t

1- American Society of Civil Engineering

میآید، کافی است پارامترهای k و ∆ را داشته تا بتوان ضریب معادله آت-کین را محاسبه کرده و آنرا در رابطه (۲) قرار داده و دبیهای

ضريب آت-كين	$(k = \frac{L}{m.V})$	طول بازه به	سرعت	مساحت سطح	دبی ورودی	تاريخ
(C <sub>m</sub> )	زمان پيمايش	متر (L)	متوسط	خیس شده به	مبنا (Qi)	سيلاب
	(hr)		جريان (٧)	متر مربع (A)		
• /٣٧٧	۲/۱۵	۲۸۵۰۰	۲/۲۰۵	۱۶/۷۸	۳۷	1774/1/17
• / ٣ ٢ V	۲/۵۶	240	۱/۸۵	۱ • / • ۵	۱۸/۶	١٣٨٣/١٢/٣
٠/٣٩۵	۲/•٣	240	۲/۳۴	۶/۳۷	14/9	138/11/80
• / ٣ • V	۲/۷۶	240	١/٧٢	۶/۳۳	۱۰/۹	1844/9/12
۰/۳۱	۲/۷۲	240	1/14	۷/۲۳	17/8	1388/1/14
• / Y Y	٣/٢	240	۱/۴۸	۵/۶۸	٨/۴٢	۱۳۸۸/۶/۲۷
۰ /۳۳ ۱	۲/۵۲	240	١/٨٨	٣/٩	٧/٣٣	۱۳۸۹/۱/۲۱
۰/۳۳	۲/۵۳	۲۸۵۰۰	١/٨٧	٩/٠٣	18/9	۱۳۸۸/۱۲/۴

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

شرط پیروی کرده و سه مورد نیز شرط معادله درباره آنها برقرار نمیباشد یعنی معادله درباره آنها برقرار نمیباشد یعنی تصحیح هیر کلی خرجی محاسبهای باید آن را به اند ( $\Delta t_p - \Delta t_p$ ) در جهت مثبت آن را به اند ( $\Delta t_p - \Delta t_p$ ) در جهت مثبت محور تها (محور زمان) انتقال داد. محاسبات مربوط به شرط معادله آت-کین اصلا شده در مربوط به شرط معادله آت-کین اصلا شده در تا اوج هیدروگراف خروجی اما زمان تا اوج هیدروگراف ورودی حسب ساعت میباشد که برای عین مقال مله بکار برده میشود. مود مورد مورد نظر بر حسب مترمکعب بر ثانیه میباشد. 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 روش آت-کین محاسبه شدهاند هنگامی روش آت-کین محاسبه شدهاند (Δt<sub>p</sub> = Δt) در آنها برقرار باشد.

همان طور که قبلا توضیح داده شد Δt<sub>ps</sub> فاصله زمانی بین زمان تا اوج هیدروگرادهای خروجی و ورودی میباشد و Δt 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

				C	0				0,
$(\Delta t_{\rm ps})$	$(\Delta t_p)$	$(S_{po})$	k	Х	$(Q_{pi})$	$(Q_{po})$	$(t_{pi})$	(t <sub>po</sub> )	تاريخ سيلاب
٨	۲/٩۶٨	224424/22	۲/۵۳×۱۰ <sup>-۸</sup>	•/٣۴	٣٧	13/15	۲۳	۳۱	1444/1/14
۱۵	7/949	<b>**</b> \$Y9Y/ <b>*</b> Y	۲/۶۸×۱۰ <sup>-۸</sup>	۰/۳۶	۱۸/۶	۱٩/۶	٨	۲۳	1444/14/4
۲	۲/۶۱	K1KN9W/1 • 9	۴/۳۹۶×۱・ <sup>-۸</sup>	۰/۵۹	۱۴/۹	14/118	14	18	۱۳۸۶/۱۱/۳۰
۶	٣/۴	100894/177	٣/۶٢١×١・ <sup>-٨</sup>	•/۴٨۶	۱۰/۹	٧/٣۵٣	٩	۱۵	۱۳۸۷/۹/۱۲
٨	٣/٢۵	118974/278	٣/۴٧٢×١• <sup>-٨</sup>	•/499	۱۲/۶	٩/۴۵	۱۸	۲۶	۱۳۸۸/۱/۱۴
۲	٣/۶٧	1422.9/229	٣/۴٩×١٠	•/489	٨/۴٢	۸/۳۳۵	٨	١٠	١٣٨٨/۶/٢٧
۲	۲/۹۷	98779/208	۵/۶۶۳×۱۰	۰/Y۶	٧/٣٣	۵/۰۲۶	٧	٩	17/1/71
٨	٣/•٩۶	27926.9/202	۲/٩٨٨×١٠ <sup>-٨</sup>	۰/۴۰۱	۱۶/۹	18	۶	14	۲۳۸۸/۱۲/۴

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

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. همان طور که در جدول ۲ مشاهده می گردد در سه مورد، در تاریخهای ۱۳۸۸/۶/۲۷، ۱۳۸۸/۶/۲۷ و ۱۳۸۹/۱/۳۰ شرط معادله آت-کین برقرار نمی باشد، بنابراین برای تصحیح این هیدرو گراف های خرجی محاسباتی، باید آنها را به اندازه (مtp - Δt)

	-		
$(R^2)$	RMSE	تاريخ سيلاب	شماره سيلاب
	مجذور ميانگين مربعات		
صريب تعيين	خطا		
•/۴۶۵	۳/۴ • ۲	1774/1/17	١
٠/٨٩٢	٠/٩۵٩	1388/18/8	٢
•/٩۶٨	۲/۵۵۹	۱۳۸۶/۱۱/۳۰	٣
• /Y۵A	•/AY )	١٣٨٧/٩/١٢	۴
• / ۵ • ١	•/۵A •	۱۳۸۸/۱/۱۴	۵
•/987	• / <b>Y</b> ۶Y	۱۳۸۸/۶/۲۷	۶
۰/٩ <i>٠۶</i>	•/۶۶۳	۱۳۸۹/۱/۲۱	٧
٠/٩۴۵	1/313	۱۳۸۸/۱۲/۴	٨

جدول ۳- مقادیر RMSE و R<sup>2</sup> برای هیدروگرافهای خروجی محاسباتی به روش آت-کین



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 سرعت  $x = \frac{1}{2} = x$  و روش سرعت متوسط جریان  $(\frac{\sqrt{50}}{\sqrt{110}} = x)$ ، استفاده شده و ضرایب معادله ماسکینگام محاسبه گردید. سپس هیدروگرافهای خروحی مربوط به هر روش (برای ۸ سیل نمونه) محاسبه شد. استفاده از فرمول تجربی  $\frac{1}{2} = x$  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<sub>2</sub> C<sub>2</sub> 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 نے باید محاسبه
گردد. ضریب k از رابطه (k = 🚽) بدست
میآید و برحسب ساعت میباشد. همچنین
مقدار V نیز با داشتن مقادیر دبی مبنا و
(Q = A.V) 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
( $x = \frac{s^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{3}{3}}}$ ) بدست آمدہ را نشان میدھد.

ماسكىنگام	معادله	ضرابب	٩k	۹X	۴– مقادب	حدول
					1	0, .

C3	C2	C1	$(k = \frac{L}{v})$	$(x = \frac{S^{\frac{1}{2}}}{m^{\frac{2}{2}}})$	تاريخ سيلاب
			(برحسب ساعت)	1113	
۰ /۶۵۱	۰ <i>/۶</i> ۰۲	-•/۲۵۳	٣/۵٩	•/٣۴١	1787/1/14
٠ <i>\</i> ۶۸۹	۰ /۶۳۹	-•/٣٢٨	۴/۲۸	۰/۳۶۴	1888/18/8
•/۴٧٢	1/318	-•/YA۶	۳/۳۸	•/۵۸۸	١٣٨۶/١١/٣٠
•/۶۴۹	•/٩۶٨	-•/۶۱V	4/8•4	•/۴٩	١٣٨٧/٩/١٢
• /۶۵۶	۰/٩٠۶	-•/۵۶۲	4/249	•/۴٧	۱۳۸۸/۱/۱۴
• /Y	•/9•۴	-•/۶•۴	۵/۳۴۹	•/۴٧	۱۳۸۸/۶/۲۷
•/۶۲۲	•/٩۶٨	-•/Δ٩	4/211	٠/۴٩	۱۳۸۹/۱/۲۱
۰ /۶۷ ۱	• / ٧٢ ١	-•/٣٩٢	4/224	٠/۴	۱۳۸۸/۱۲/۴

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 نیز مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین (مجذور ضریب همبستگی) را برای هیدروگراف خروجی

$x = \frac{s^{\frac{1}{2}}}{np^{\frac{2}{3}}}$	به روش	محاسباتى	خروجى	، های	. رو گراف	ای هید	R <sup>2</sup> بر	RMSو	ادير E	۵– مق	جدول
							ئام	باسكينگ	, ابطه ه	د,	

مقدار R <sup>2</sup>	مقدار RMSE	تاريخ سيلاب
•/٣٩۴	$r/\lambda\gamma r$	1888/1/14
٠/٨٩١	•/٩١١	1886/18/6
•/\\	37/892	١٣٨۶/١١/٣٠
• /888	•/9\X	١٣٨٧/٩/١٢
•/489	•/984	۱۳۸۸/۱/۱۴
•/\\\	・/ <b>人</b> を・	١٣٨٨/۶/٢٧
٠/٨۴٢	• /YYX	1889/1/21
۰/۹۰۸	1/AYY	1388/12/4

ماسكينگام جهت رونديابي محاسبه گرديد. جدول (۶) مقادیر مربوط به x که از طریق رابطه سرعت متوسط جريان محاسبه مىگردد و k و ضرایب معادله ماسکینگام را نشان

استفاده از روش سرعت متوسط جریان م ماسکینگام ( $x = \frac{0.5V}{V+1.7}$ ) جهت تعیین ضرایب ماسکینگام در این روش مقدار x برای وقایع سیلابی مختلف با توجه به سرعت متوسط جريان رودخانه محاسبه شد و سپس به کمک آن مقادير  $C_1$  و  $C_3$  و  $C_2$  ، $C_1$  معادله

جدول ۶- مقادیر x و k و ضرایب معادله ماسکینگام

			· ·		
C3	C2	C1	$(\mathbf{k} = \frac{\mathbf{L}}{\mathbf{v}})$	$(\mathbf{X} = \frac{0.5\mathbf{V}}{\mathbf{V} + 1.7})$	تاريخ سيلاب
			(برحسب ساعت)		
•/۶۷۵	٠/۴۹١	-•/188	٣/۵٩	•/٢٨٢	1787/1/14
•/٧٢٧	•/۴۴	-•/ <b>\</b> ۶Y	۴/۲۸	•/٢۶	1787/17/7
•/۶۵۵	•/ <b>\</b> . • ٩	-•/184	$\mathcal{T}/\mathcal{T}\Lambda$	٠/٢٨٩	١٣٨۶/١١/٣٠
•/٧۴٧	٠/۴١٩	-•/188	4/8 • 3	•/YD1	١٣٨٧/٩/١٢
•/٧۴٣	•/474	-•/1 <b>%</b> Y	4/249	•/٢۵٣	۱۳۸۸/۱/۱۴
• /٧٨٣	٠/٣٧٩	-•/188	۵/۳۴۹	•/٣٣٣	۱۳۸۸/۶/۲۷
•/٧٢٣	•/444	-•/1 <b>%</b> Y	4/511	۰/۲۶۲	۱۳۸۹/۱/۲۱
•/77۴	•/۴۴۲	-•/\۶۶	4/222	۰/۲۶۱	۱۳۸۸/۱۲/۴

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

ارزیابی کارآیی روشهای ماسکینگام و آت-کین اصلاح شده در روندیابی سیل ...

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

مقدار R <sup>2</sup>	مقدار RMSE	تاريخ سيلاب	شماره سيلاب
•/4•8	٣/٣٨٣	1846/1/14	١
٠/٩١٣	• /٨٣٣	1884/12/2	٢
•/954	<b>T/TT</b>	١٣٨۶/١١/٣٠	٣
۰/۸۳۵	•  888	1321/9/12	۴
•/ <b>Δ</b> ۲ •	• /٧٨۴	۱۳۸۸/۱/۱۴	۵
•/947	• /844	١٣٨٨/۶/٢٧	۶
•/٩	•/۵۵٩	۱۳۸۹/۱/۲۱	Y
•/908	1/147	١٣٨٨/١٢/۴	٨

0.5V					-			
$x = \frac{0.57}{0.57}$	به . مث	محاسبات	sais da	ب ه در مگراف	$d \sim R^2$	RMSE	V	10.12

مىدھد.

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

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).

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

ا₹

جریان ا $\frac{50}{1+17} = C$ ) بدست میآید دارای دبی و هیدرو گراف خروجی نزدیکتر و شبیهتری به هیدرو گراف خروجی مشاهداتی می باشد. همچنین با توجه به جداول ۳، ۵ و ۷ و با در نظر گرفتن مقادیر RMSE و R روش نظر گرفتن مقادیر ای وش ماسکینگام آت-کین در مقایسه با روش ماسکینگام (سرعت متوسط) از دقت گمتری و در مقایسه با روش ماسکینگ ( $\frac{1}{29}$  = x) از کارآیی بالاتری برخوردار است (جدول ۸).

با توجه به این که هرچه مقدا RMSI به صفر نزدیکتر باشد و هرچه مقدا R به یک نزدیکتر باشد مدل از نظر آماری قابل قبول تر 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 مناسب تر از روش شیب - سطح مقطع می اشد. در واقع رابطه ماسکینگامی که ضرایب آن با کمک رابطه سرعت متوسط

کارآترین تا معادله با کارآیی پایین	فاده شده در تحقیق از آ	جدول ۸- ترتيب معادلات است
مقادير	مقادیر RMSE	روش های روندیابی
+ /٩	۰/۵۵۹	ماسکینگام (سرعت متوسط)
•/ <b>Δ</b> • ١	۰/۵۸۰	آت- کین
•/842	•/YYX	(X $\frac{S^{\frac{1}{2}}}{2})$ ماسکینگام (X $\frac{S^{\frac{1}{2}}}{2}$

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).

## تشكر و قدردانى

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. 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 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

- 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)
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

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

#### Seyed Mohsen Manavi Amri<sup>1</sup>, Arash Malekian<sup>2</sup>, Kaka Shahedi<sup>3</sup> and Baharak Motamed Vaziri<sup>4</sup>

1- Former MSc Student, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran	1
(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	n
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<sup>2</sup> 0.9 was more efficient than Att-Kin method.

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