

## مقایسه روند یابی سیل با دو روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانژ در بخشی از رودخانه ليقوان

حمیدرضا مرادی\*، مهدی وفاخواه و علی اکبری باویل<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۱/۲۴)

## چکیده

روندیابی جریان به عنوان یک فرایند ریاضی برای پیش بینی تغییرات بزرگی، سرعت و شکل موج سیل به صورت تابعی از زمان در یک یا چند نقطه در طول آبراهه، کانال یا مخزن می‌باشد. برای انجام روندیابی سیل از دو روش هیدرولیکی و هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. روش هیدرولوژیکی گرچه دقت روش هیدرولیکی را ندارد ولی بسیار ساده‌تر از آن بوده و در طراحی سازه‌ها و کنترل سیل با اطمینان قابل قبولی به کار می‌رود. تحقیق حاضر در بازه‌ای از رودخانه ليقوان (حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری ليقوان و هروی) در استان آذربایجان شرقی به طول ۱۲ کیلومتر انجام گرفت. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات ثبت شده در ایستگاه‌های ليقوان و هروی، دبی سیل برای دوره‌های بازگشت ۲، ۱۰، ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ ساله محاسبه شد. سپس روندیابی هر یک از دبی‌های سیل‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف با دو روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانژ انجام گرفت. نتایج نشان داد که دبی‌های روندیابی شده با این دو روش با مقادیر دبی مربوط به آن دوره بازگشت در ایستگاه هروی (ایستگاه پایین دست) دارای اختلاف زیادی می‌باشد. دلایل به وجود آورنده این اختلاف، می‌تواند متعدد باشد که از آن جمله می‌توان به کوهستانی بودن منطقه و وجود شاخه فرعی در بین دو ایستگاه اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: روندیابی سیل، ماسکینگام، ماسکینگام-کانژ

## مقدمه

آبراهه‌های طبیعی یا دست ساخت ارائه شده‌اند. در قرن ۱۹ تحقیقات زیادی برای استفاده از تکنیک‌های ریاضی در روندیابی سیل انجام شد به طوری که در سال ۱۸۷۱، ساینت - وانانت، تئوری اساسی جریان غیرماندگار یک بعدی را فرموله کردند. با توجه به پیچیدگی حل این معادله، روش‌های ساده شده برای روندیابی به سرعت توسعه یافتند (۱۵).

روند سیل به طریق هیدرولیکی و هیدرولوژیکی قابل مطالعه می‌باشد. اگر جریان آب فقط به صورت تابعی از زمان در محلی مشخص روندیابی گردد، روندیابی هیدرولوژیکی و یا

روندیابی جریان در یک رودخانه به عنوان یک فرایند ریاضی برای پیش‌بینی تغییرات بزرگی، سرعت و شکل موج سیل به صورت تابعی از زمان در یک یا چند نقطه در طول آبراهه، کانال یا مخزن در نظر گرفته شده است. اگر جریان مربوطه سیلابی باشد به آن روندیابی سیل گفته می‌شود (۱۳). روش‌های زیادی برای پیش‌بینی خصوصیات شکل موج سیل برای مشخص نمودن اقدامات ضروری برای حفاظت از افراد و دارایی‌ها در مواقع سیل گرفتگی و بهبود انتقال آب از

۱. به ترتیب استادیار، مربی و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: morady5hr@yahoo.com

سیلاب‌ها در حوضه‌های کوچک در مقایسه با رودهای بزرگ، پهنه‌بندی سیل برای مدیریت صحیح و کنترل ساخت و ساز در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد. جهت تعیین پهنه سیل، آگاهی از تغییر ارتفاع سیل در طول رودخانه لازم می‌باشد (۵). با توجه به اهمیت روندیابی و وجود ایستگاه‌های هیدرومتری در بالادست و پایین دست حوزه ليقوان، در این تحقیق از دو روش معمول روندیابی سیل ماسکینگام و ماسکینگام-کانز در مواقعی که بحث شکست سد، شیب خیلی کم و آثار برگشت آب مطرح نمی‌باشد استفاده شده و پهنه‌های این دو روش با هم مقایسه شده است.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه، زیر حوزه تلخه رود در جنوب شرقی تبریز و بین طول‌های جغرافیایی  $46^{\circ}20'$  تا  $46^{\circ}35'$  شرقی و عرض‌های جغرافیایی  $37^{\circ}50'$  تا  $37^{\circ}55'$  شمالی واقع شده است. این منطقه از بالادست به روستای ليقوان و از پایین دست به روستای هروی ختم می‌شود. وسعت منطقه  $27/69$  کیلومتر مربع بوده و بلندترین نقطه ارتفاعی آن  $2489$  متر در جنوب غرب منطقه و کمترین نقطه ارتفاعی آن  $1920$  متر در ایستگاه خروجی (هروی) است. بازه انتخاب شده بخشی از رودخانه ليقوان می‌باشد که بین دو ایستگاه هیدرومتری ليقوان و هروی قرار گرفته است (شکل ۱). طول بازه مورد مطالعه  $12$  کیلومتر بوده که  $99$  مقطع عرضی در آن برداشت شده است. در این تحقیق از آمار دبی  $28$  ساله ( $1382-1354$ ) ایستگاه‌های بالا و برای روندیابی سیل از دو روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانز استفاده شده و نرم افزار HEC RAS در شرایط رژیم مختلط (Mixed) اجرا شد. با توجه به عدم همسانی سیل‌ها با دوره‌های بازگشت مختلف در ایستگاه‌های بالادست و پایین دست، میزان جریان‌های فرعی بر اساس روابط تجربی (کریگر) و نسبت مساحت‌ها محاسبه گردید.

### تخمین سیلاب با دوره‌های بازگشت مختلف

آمار دبی حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری

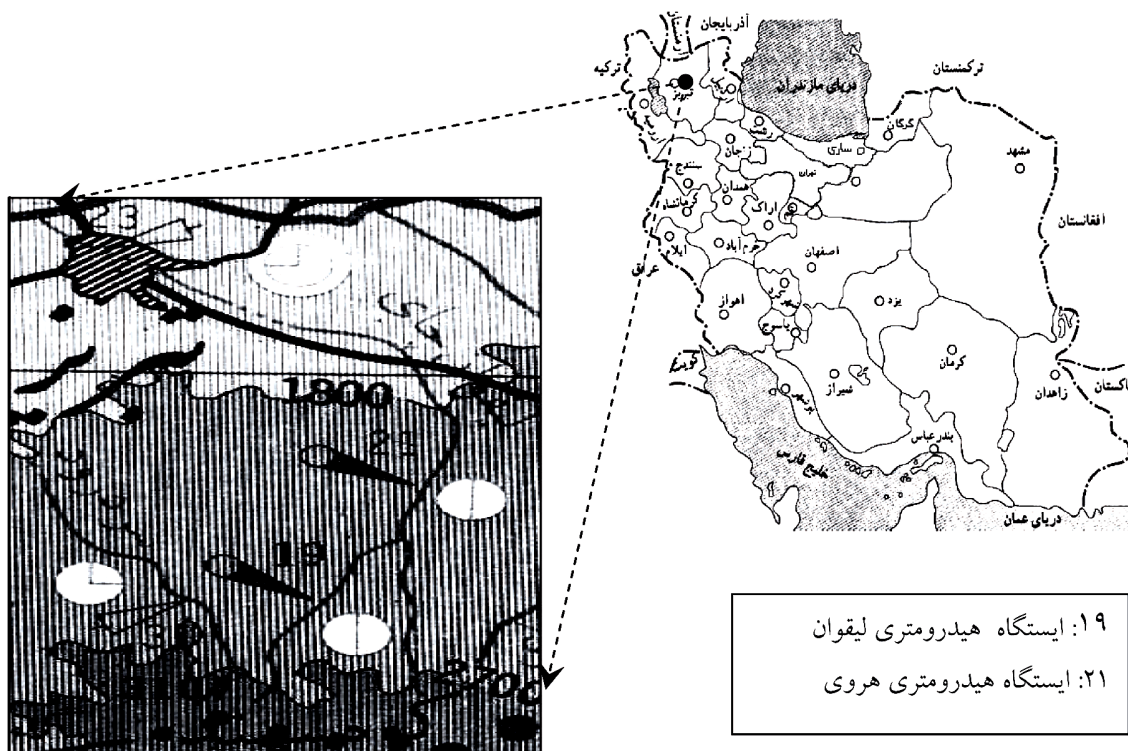
سیستم روندیابی متمرکز نامیده می‌شود. موارد استفاده در این روش معادله پیوستگی جریان، هیدروگراف‌های طبیعی و واحد، دبی و سطح تراز سیلاب حداکثر می‌باشد. اگر روندیابی جریان به صورت تابعی از زمان و مکان در طول سیستم مد نظر باشد این روش به نام روندیابی هیدرولیکی یا سیستم روندیابی توزیعی شناخته شده است. در این روش از معادله پیوستگی جریان و معادله حرکت استفاده شده و اساس آن بر تئوری جریان‌های غیر دائمی استوار است (۶ و ۱۲). گرچه استفاده از روش هیدرولوژیکی دقت روش هیدرولیکی را ندارد ولی بسیار ساده تر از آن انجام می‌شود و در طراحی سازه‌ها و کنترل سیل با اطمینان قابل قبولی به کار می‌رود (۱ و ۵).

باری و باجراچاریا (۱۰) نشان دادند با این که فاکتورهای وزنی X و زمانی K، در روندیابی ماسکینگام-کانز بدون توجه به شرایط مرزی محاسبه می‌شود، اما این روش در مقایسه با روش انتشاری از دقت خوبی برای تخمین داده‌ها برخوردار می‌باشد. ویکتور و همکاران (۱۷) مدل ماسکینگام-کانز را که بر پایه موج سینماتیک استوار است با یک مدل موج دینامیکی مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که این مدل از صحت و دقت مناسب برخوردار است.

عبدالشاه نژاد (۳) به مطالعه روش‌های مختلف روندیابی هیدرولیکی و هیدرولوژیکی سیلاب در بخشی از رودخانه کارون پرداخت. در این تحقیق مدل‌های ماسکینگام، ماسکینگام-کانز، آت-کین، کانوکس و مدل هیدرودینامیک Mike11 مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت مدل کانوکس به عنوان بهترین مدل پیشنهاد شد.

دهقانی (۲) به ارزیابی کارایی روش‌های روندیابی در رودخانه زهره پرداخت. نتایج تحقیقات وی نشان داد که مدل‌های روندیابی ماسکینگام، ماسکینگام-کانز و آت-کین به ترتیب دارای اولویت می‌باشند و در بین روش‌های انتخاب ضرایب مدل، روش گرافیکی از دقت بالایی برخوردار است.

در دهه‌های اخیر افزایش جمعیت در حاشیه رودخانه‌ها باعث افزایش خسارات سیل شده است (۴، ۷ و ۸). با توجه به رشد جمعیت و مهاجرپذیر بودن منطقه ليقوان و نیز بالا بودن تلفات جانی



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مواد بستر، درجه ناهمواری در سطح بستر کانال، تغییرات در سطح بستر کانال، تأثیر نسبی موانع، پوشش گیاهی و درجه پیچان رود بودن کانال، تعیین می‌شود (۶، ۹ و ۱۳).

### روند یابی سیل با روش ماسکینگام

روش ماسکینگام (Muskingum) طی مطالعات کنترل سیل که توسط مک کارتی (McCarthy) بر روی رودخانه ماسکینگام در ایالت اوهایو انجام شد ارائه گردید. در این روش فرض می‌شود که ذخیره، تابع خطی از دبی است. البته حجم ذخیره منحصرأً به وسیله دبی خروجی محاسبه نمی‌شود. چنانچه دبی‌های ورودی و خروجی در محدوده خاص مورد مطالعه به ترتیب تابع عمق بالا دست و پایین دست باشند، ذخیره کل بستگی به هردو دبی ورودی و خروجی خواهد داشت (۴ و ۱۶). در روش ماسکینگام معادله ذخیره به صورت معادله ۱ بیان می‌شود:

$$S = KQ + KX(I - Q) \implies S = K[XI + (1 - X)Q] \quad [1]$$

لیقوان و هروی برای مدت ۲۸ سال جمع آوری شده و پس از تعیین دوره آماری مشترک و کنترل داده‌ها، آزمون همگنی به روش ران تست انجام گرفت. داده‌های ناقص (۲ سال) با استفاده از معادله رگرسیونی که به وسیله نرم افزار SPSS به دست آمده بازسازی گردید. برای دست آوردن دبی مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف، از نرم افزار Hyfa استفاده شد. پس از وارد کردن داده‌ها به این نرم افزار و اجرای آن، بهترین توزیع با توجه به میزان مربع کای، میانگین مربع انحراف نسبی و میانگین انحراف نسبی تعیین گردید و دبی‌های مربوط به آن توزیع برای هر دوره بازگشت استخراج شد. هیدرو گراف سیل برای هر دبی اوج بعد از کسر دبی پایه از روش ماکوس (Mockous) به دست آمد (۵).

### تعیین ضریب زبری بستر

برای تعیین ضریب زبری مانینگ از روش کوان (Cowan) و جدول چاو (Chow) استفاده شد. در این روش مقادیر ضریب زبری در کانال اصلی و سیلاب دشت‌ها از بررسی شش عامل:

$S =$  ذخیره رودخانه

$I =$  دبی ورودی

$Q =$  دبی خروجی

$K =$  ضریب تناسب یا ثابت ذخیره می‌باشد که دارای بعد زمان بوده و معادل زمان انتقال موج است.

$X =$  عامل وزنی است که اثر مقدرنسبی دبی ورودی و خروجی را به صورت بی بعد بیان می‌کند و حدود آن  $0 < X < 5$  است.

ذخیره کل از دو قسمت ذخیره منشوری (Prism storage) که تنها تابع دبی خروجی می‌باشد و ذخیره گوه‌ای یا تیغه‌ای (Wedge storage) که به تفاضل دبی‌های ورودی و خروجی بستگی دارد تشکیل می‌گردد. در معادله ۱ ذخیره منشوری  $KQ$  و ذخیره تیغه‌ای  $(1-X)Q$  بوده که در شکل ۲ نمایش داده شده است (۶، ۱۰ و ۱۴).

همان گونه که ملاحظه می‌شود وقتی دبی‌های ورودی و خروجی برابر باشند ( $X=0$ )، تنها ذخیره منشوری وجود دارد و در صورتی که شدت جریان ورودی از خروجی بیشتر باشد، ذخیره گوه‌ای مثبت و چنانچه جریان ورودی از جریان خروجی کمتر باشد ذخیره گوه‌ای منفی به وجود می‌آید. با توجه به قانون پیوستگی داریم:

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \Rightarrow \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{I_j + I_{j+1}}{2} - \frac{Q_j + Q_{j+1}}{2} = \frac{S_{j+1} - S_j}{2} \quad [2]$$

با توجه به رابطه ۲ و محاسبه ذخیره در فاصله زمانی  $t$  و  $t + \Delta t$  معادله ماسکینگام به صورت رابطه ۳ در می‌آید (۱۲).

$$Q_{j+1} = C_1 I_{j+1} + C_2 I_j + C_3 Q_j \quad [3]$$

در معادله بالا  $Z$  اندیس زمانی است و مابقی پارامترها قبلاً ارائه گردید. در این تحقیق با توجه به شرایط منطقه، سه هیدروگراف سیل انتخاب شد که در آنها حجم سیلاب در بالادست و پایین دست تقریباً ثابت بود و دبی قابل اندازه‌گیری از رودخانه برداشت نمی‌شد و یا به آن وارد نمی‌گشت. بر اساس روش ترسیم و مشتق‌گیری (معادله‌های ۴ و ۵) مقدار ضریب  $K$  و  $X$  برای رودخانه ليقوان بدست آمد. در مواقعی که مقادیر جریان ورودی و خروجی برای رودخانه مشخص باشد، از

روش ترسیم برای تعیین  $K$  و  $X$  استفاده می‌شود (۵ و ۱۲).

$$K = \frac{0.5 \Delta t [(I_{j+1} + I_j) - (Q_{j+1} + Q_j)]}{X (I_{j+1} - I_j) + (1 - X)(Q_{j+1} - Q_j)} \quad [4]$$

مقدار  $X$  با محاسبه مشتق معادله ماسکینگام در نقطه تلاقی هیدروگراف‌های ورودی و خروجی و معادل صفر قرار دادن عبارت  $dS/dt$  به دست می‌آید (۵ و ۱۴):

$$X \left( \frac{dI}{dt} \right)_c = -(1-X) \left( \frac{dQ}{dt} \right)_c \quad [5]$$

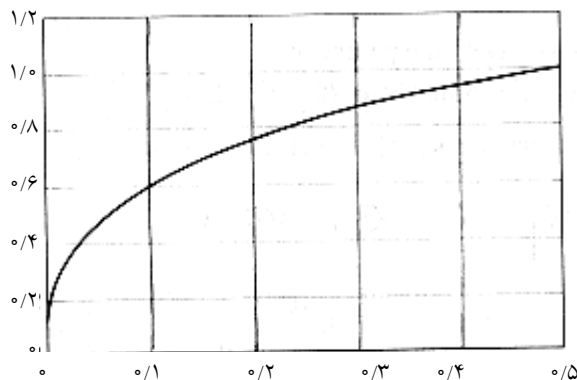
که  $C$  محل تلاقی هیدروگراف‌های ورودی و خروجی است. مقادیر  $\left( \frac{dI}{dt} \right)_c$  و  $\left( \frac{dQ}{dt} \right)_c$  از شیب خط مماس بر هیدروگراف‌های ورودی و خروجی به دست می‌آید (۴).

#### روندیابی به روش ماسکینگام - کانژ

کانژ (Cunge) برای اولین بار در سال ۱۹۶۹ تشابه بین معادله انتقالی ماسکینگام و معادله انتقال پخشی را بیان کرد. او معادله (رابطه ۶) را به صورت تقریبی و مقایسه‌ای از معادله موج سینماتیک با جایگزینی اختلاف محدود استاندارد برای  $\partial Q / \partial t$  و  $\partial Q / \partial x$  با استفاده از الگوی جعبه‌ای و انتخاب فاکتورهای وزن مکانی  $X$  و فاکتور وزن زمانی معادل  $0.5$  و در نهایت با مقایسه پخش عددی و پخش فیزیکی به دست آورد. سپس تلاش‌های زیادی توسط افراد مختلف برای تکمیل و بهبود آن صورت گرفت (۱۰).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad [6]$$

از تفاوت‌های این روش با روش ماسکینگام می‌توان به تغییر اساس روش ماسکینگام با تعیین پارامترهای آن به طریق خاص توسط کانژ و همکاران بر اساس پخشی و امکان در نظر گرفتن جریان‌های جانبی اشاره نمود. از سوی دیگر با توجه به تعیین پارامترها از طریق داده‌های هیدرولیکی و قابل اندازه‌گیری در رودخانه، این روش به سادگی می‌تواند برای رودخانه‌های فاقد دبی اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرار گیرد. در این روش، معادله ماسکینگام در یک شبکه منعکس می‌شود که محل تلاقی در این شبکه دبی خروجی از رودخانه در زمان جزئی  $\Delta t$  و



شکل ۳. منحنی تعیین مقدار  $\Delta x/c_k \Delta t$  در روش ماسکینگام-کانز

مؤلفه‌های به کار گرفته شده در این معادلات به شرح زیر می‌باشند:

$$B = \text{عرض سطح آب}$$

$$S_0 = \text{شیب کانال}$$

$$c_k = \text{سرعت موج هماهنگ با } Q \text{ و } B$$

$$\Delta x \text{ و } \Delta t = \text{به ترتیب گام مکانی و زمانی روندیابی}$$

در روش ماسکینگام-کانز بعد از تعیین  $\Delta x$  که گام مکانی یا همان طول بازه است، برای تعیین  $\Delta t$  از نموداری که توسط کانز ارائه شده استفاده می‌شود (شکل ۳). از روی شکل بر

اساس مقدار  $\Delta x$ ، مقدار  $\frac{\Delta x}{c_k \Delta t}$  مشخص می‌شود و با در نظر

گرفتن آن که عدد خوانده شده روی محور باید حد نهایی برای

کسر  $\frac{\Delta x}{c_k \Delta t}$  باشد مقدار  $\Delta t$  تعیین می‌شود. در این تحقیق برای

محاسبه  $c_k$  از  $\frac{3}{4}$  سرعت دبی اوج و در طول بازه با در نظر

گرفتن شرایط رودخانه و نمودار ارائه شده توسط کانز ۱۰ مقطع

برای روندیابی استفاده شده است (۱۱، ۱۵ و ۱۶).

### نتایج و بحث

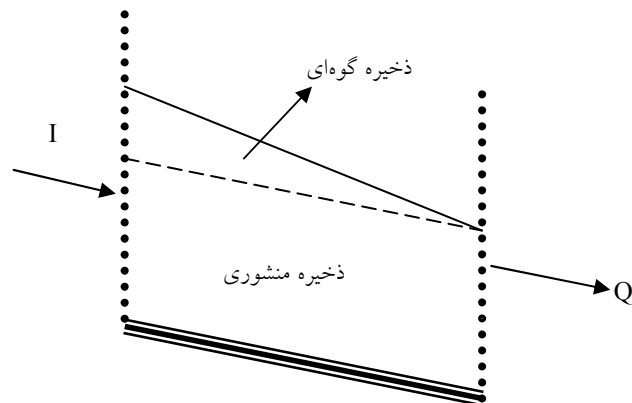
نتایج حاصل از برازش داده‌ها با نرم افزار Hyfa، نشان داد که

توزیع لوگ نرمال سه پارامتری با روش حداکثر درست نمایی

(Maximum likelihood) به عنوان بهترین توزیع برای برآورد

حداکثر دبی لحظه‌ای در حوزه می‌باشد. نتایج مربوط به بر آورد

حداکثر دبی لحظه‌ای ایستگاه‌های لیقوان و هروی با دوره‌های

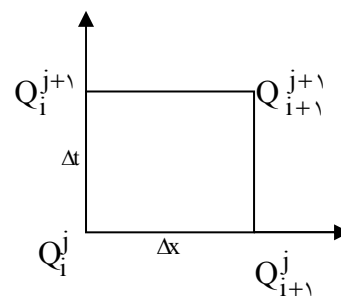


شکل ۲. انواع ذخیره در موقع حرکت موج سیل

مکانی  $\Delta x$  را نشان می‌دهد.  $i$  اندیس نقاط مکانی و  $j$  اندیس

نقاط زمانی و خط مکان موازی محور  $x$  و خط زمان موازی  $y$ ها

است (۱۰ و ۱۵).



لازم به ذکر است که روش ماسکینگام کانز برای روند یابی

توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادلاتی که در این روش

استفاده می‌شود در روابط ۷ تا ۱۳ ارائه شده است.

$$Q_{i+1}^{j+1} = C_1 Q_i^{j+1} + C_2 Q_i^j + C_3 Q_{i+1}^j \quad [7]$$

$$C_1 = \frac{\Delta t - v K X}{v K (1 - X) + \Delta t} \quad [8]$$

$$C_2 = \frac{\Delta t + v K X}{v K (1 - X) + \Delta t} \quad [9]$$

$$C_3 = \frac{v K (1 - X) - \Delta t}{v K (1 - X) + \Delta t} \quad [10]$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1 \quad [11]$$

$$X = \frac{1}{2} - \frac{Q}{v B c_k S_0 \Delta x} \quad [12]$$

$$K = \frac{\Delta x}{c_k} \quad [13]$$

جدول ۱. دبی اوج محاسبه شده به ازای دوره‌های بازگشت مختلف بر حسب متر مکعب در ثانیه

دوره بازگشت (سال)	۲	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
ایستگاه لیقوان	۶/۰۸۷	۱۰/۹۹۴	۱۳/۰۹۵	۱۵/۹۸۷	۱۸/۲۸۸
ایستگاه هروی	۸/۵۶	۲۶/۰۸	۳۶/۷۷	۵۴/۵۴	۷۱/۱۹

جدول ۲. هیدروگراف‌های مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف برای ایستگاه لیقوان بر حسب متر مکعب در ثانیه

زمان (ساعت)	هیدروگراف با دوره بازگشت ۲ سال	هیدروگراف با دوره بازگشت ۱۰ سال	هیدروگراف با دوره بازگشت ۲۰ سال	هیدروگراف با دوره بازگشت ۵۰ سال	هیدروگراف با دوره بازگشت ۱۰۰ سال
۰	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷	۰/۶۷
۱	۳/۲۲	۵/۵۲	۶/۵۱	۷/۸۷	۸/۹۵
۲	۶/۰۸۷	۱۰/۹۹	۱۳/۱	۱۵/۹۹	۱۸/۲۹
۳	۴/۳۵	۷/۶۹	۹/۱۲	۱۱/۰۸	۱۲/۶۵
۴	۲/۱۹	۳/۵۶	۴/۱۵	۴/۹۶	۵/۶
۵	۱/۳۶	۱/۹۸	۲/۲۵	۲/۶۲	۲/۹
۶	۰/۹۷	۱/۲۴	۱/۳۵	۱/۵۱	۱/۶۴
۷	۰/۸۱	۰/۹۳	۰/۹۸	۱/۰۵	۱/۱۱
۸	۰/۷۳	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸۴	۰/۸۶
۹	۰/۶۹	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۵	۰/۷۶

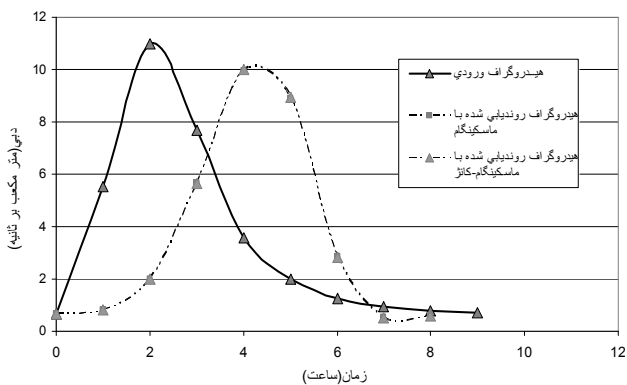
جدول ۳. نتایج مقایسه رقوم تراز سطح آب روش‌های روندیابی ماسکینگام و ماسکینگام-کانز با آزمون t جفتی

دوره بازگشت (سال)	۲	۱۰	۲۰	۵۰	۱۰۰
درجه آزادی	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸	۹۸
T محاسباتی	۰	-۱/۶۸۲	-۱/۲۲۸	-۱/۴۲۲	۱/۱۳۶
P	۱	۰/۰۹۶	۰/۲۲۲	۰/۱۵۸	۰/۲۵۹

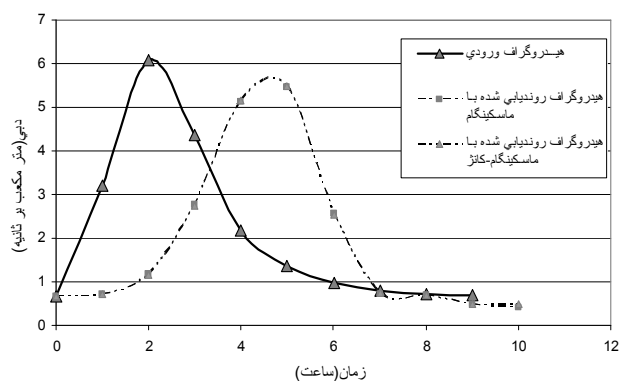
بازگشت مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

نتایج حاصل از هیدروگراف‌های تهیه شده به ازای حداکثر دبی‌های لحظه‌ای با دوره‌های بازگشت مختلف در جدول ۲ ارائه گردیده است. دبی پایه برای همه دوره بازگشت‌ها به طور متوسط ۰/۶۷ متر مکعب در ثانیه انتخاب شده است. علت این انتخاب، بررسی هیدروگراف‌های مشاهده شده بوده است. نتایج مربوط به روندیابی هیدروگراف‌های مربوط به دوره‌های بازگشت مختلف در شکل‌های ۴ تا ۸ ارائه شده است. در این شکل‌ها هیدروگراف ورودی مربوط به ایستگاه لیقوان و هیدروگراف خروجی مربوط به ایستگاه هروی است. همان‌طور که در شکل‌های ۴ تا ۶ مشاهده می‌شود

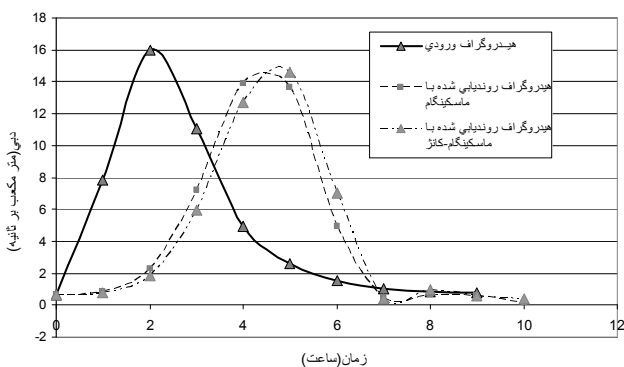
هیدروگراف‌های مربوط به روش‌های روندیابی ماسکینگام و ماسکینگام-کانز روی هم افتاده است که نشان دهنده عدم تفاوت نتایج روندیابی حاصل از این دو روش می‌باشد. نتایج مقایسه رقوم تراز سطح آب روش‌های روندیابی ماسکینگام و ماسکینگام-کانز با آزمون t جفتی در جدول ۳ ارائه شده است. در مورد روش‌های روندیابی استفاده شده در این تحقیق لازم به ذکر است که روش ماسکینگام به طور معمول در مواقعی که چند سیل با هیدروگراف ورودی و خروجی مشخص وجود داشته باشد به کار می‌رود و در صورت عدم وجود هیدروگراف خروجی و مشخص نبودن ضرایب روندیابی معمولاً از روش ماسکینگام-کانز استفاده می‌شود. در این تحقیق وجه



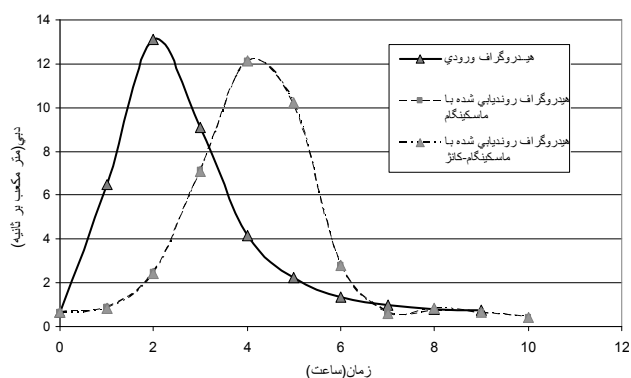
شکل ۵. روندیابی سیل ۱۰ ساله با روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانز



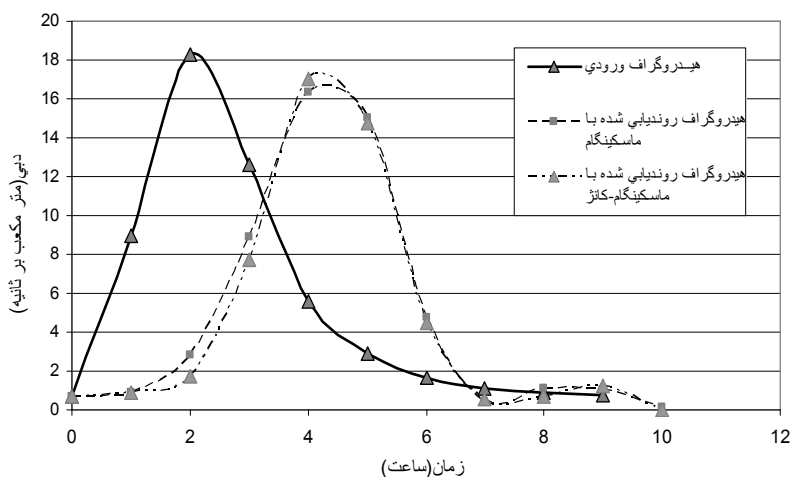
شکل ۴. روندیابی سیل ۲ ساله با روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانز



شکل ۷. روندیابی سیل ۵۰ ساله با روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانز



شکل ۶. روندیابی سیل ۲۰ ساله با روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانز



شکل ۸. روندیابی سیل ۱۰۰ ساله با روش ماسکینگام و ماسکینگام-کانز

نتایج دبی‌های روندیابی شده در مقایسه با مقادیر دبی مربوط به آن دوره بازگشت در ایستگاه پایین دست (هروی) حاکی از اختلاف زیاد این مقادیر است. دلایل به وجود آورنده این اختلاف می‌تواند متعدد باشد که از آن جمله می‌توان به وضعیت کوهستانی بودن منطقه و وجود شاخه فرعی در بین دو ایستگاه اشاره نمود.

تمایز این روش‌ها در محاسبه پارامتر  $X$  بود و برای محاسبه پارامتر  $K$  در هر دو روش از سرعت  $\frac{3}{4}$  دبی اوج استفاده شده است. برای افزایش دقت مطالعه، رقوم سطح آب حاصل از روش‌های روندیابی (با دقت ۰/۱ متر) به کمک آزمون  $t$  جفتی با هم مقایسه شدند. نتیجه این آزمون نشان داد که بین رقوم سطح آب حاصل از این دو روش برای دوره‌های بازگشت مختلف در سطح معنی‌داری ۵٪ اختلافی وجود ندارد.

### منابع مورد استفاده

۱. افشار، ع. ۱۳۶۹. هیدرولوژی مهندسی. مرکز نشر دانشگاهی، تهران.
۲. دهقانی، م. ۱۳۸۳. ارزیابی کارایی روش‌های روندیابی سیلاب در رودخانه جزر و مدی زهره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
۳. عبدالشاه نژاد، ع. ۱۳۷۵. مقایسه روش‌های مختلف هیدرولیکی و هیدرولوژیکی روندیابی در بخشی از رودخانه کارون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۴. صفری، ع. ۱۳۸۰. تعیین الگوی مدیریت بهینه در دشت‌های سیلابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
۵. مهدوی، م. ۱۳۷۸. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران.
۶. میرباقری، ا. ۱۳۷۷. هیدرولوژی مهندسی. انتشارات دانشگاه شیراز.
7. Anonymous, 2005. WWW.iranrivers.com/Flood.htm.
8. Anonymous, 2005. WWW.iranrivers.com/Flood/Nonsrtruct NonStr0\_introduction.htm.
9. Arcement, Jr. and V. R. Schneider. 2003. Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains. United States Geological Survey Water-supply, Paper 2339, 67P.
10. Barry, D. A. and k. Bajracharya. 1997. On the muskingum-cunge flood routing method. Environ. Int 21(5):485-490.
11. Bedient, B. Ph. 1992. Hydrology and Floodplain Analysis. Addison-Wesley Pub. Co., USA.
12. Chow, V. T., D. Maidment and W. M. Larry. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill Pub. Co., USA.
13. Chow, V. T. 1982. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill Pub. Co., USA.
14. Linsley, R. K. Jr., M. A. Kohlerand and J. L. H. Paulhus. 1982. Hydrology for Engineers. McGraw-Hill Pub.Co., USA.
15. Maidment, D. R. 1993. Hand Book of Hydrology. Mc.Graw-Hill Pub., USA.
16. Singh, V. P. 1988. Hydrologic Systems. Volume: 1, Rainfall Runoff Modeling, Prentice & Hall Pub., USA.
17. Victor, M., T. Ponce and L. Alolph. 2001. Modeling Looped Rating in Muskingum-conge Routing. J. Hydrol. Eng. 6(2): 119-124.