

مقایسه دقت دو روش آت- کین اصلاح شده و کانوکس در روندیابی سیل در بخشی از رودخانه دالکی

مسعود مصباحی*^۱، مجید عباسی زاده^۲، محمدرضا نیک منش^۳

۱

- ۱- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران
- ۲- استادیار گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران
- ۳- استادیار گروه عمران، دانشکده مهندسی، واحد ارسنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، ارسنجان، ایران

تاریخ دریافت: 1402/03/13 تاریخ پذیرش: 1402/07/14

چکیده

در این پژوهش با استفاده از دو روش هیدرولوژیکی کانوکس و آت - کین، اقدام به روندیابی سیل در بازه ی سرقنات و کلل واقع در رودخانه دالکی گردید جهت انجام این عملیات ۲۶ هیدروگراف سیل به عنوان ورودی مدل انتخاب گردید و هیدروگراف خروجی حاصل از مدلها با هیدروگراف خروجی مشاهده ای در ایستگاه پایین دست بازه، مقایسه شد. جهت ارزیابی کارایی و دقت مدل در پیشبینی هیدروگرافهای خروجی از مجذور میانگین مربعات خطا، استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد که روش هیدرولوژیکی آت- کین نسبت به روش گرافیکی (رگرسیون) کانوکس بصورت معناداری دقت کمتری دارد اما در مقایسه با دو زیر روش سینگ و SCS کانوکس دقت بیشتری دارد. همچنین با مقایسه نتایج خطای RMSE مشخص شد که روش گرافیکی یا رگرسیونی کانوکس از همه ی روش های دیگر در این تحقیق مناسب تر است با مقدار خطای متوسط 21/26 مترمکعب بر ثانیه. و پس از آن به ترتیب بهترین روش ها شامل آت کین، سینگ و SCS با مقدار RMSE 70/16 ، 77/87 و 79/3 متر مکعب بر ثانیه می باشند. هر چند مقدار اختلاف دو روش سینگ و SCS جدی نیست. مقادیر خطا در همه ی روشهای یه کار گرفته شده در این تحقیق در دبی 50 درصد مقدار کمتری را در مقایسه با دبی پیک نشان میدهند. در روش آت کین مقدار خطا در شرایط استفاده از دبی پیک و دبی 50 درصد پیک از 78/5 متر مکعب بر ثانیه به 70/17 متر مکعب بر ثانیه رسیده است. با توجه به نتایج ذکر شده توصیه می شود که محققان از همان ابتدا، دبی 50 درصد پیک را ملاک عمل و استفاده در روندیابی قرار دهند.

واژه های کلیدی: روندیابی سیل، روش آت-کین اصلاح شده، روش کانوکس، RMSE، رودخانه دالکی

* نویسنده مسئول: مسعود مصباحی Email: masoud.mesbahi@iau.ac.ir

1- Chow

2- Flood Wave

3 - Hydraulic Method

4 - Hydrologic Method

5 - Lumped Flow Routing

مقدمه

بررسی نحوه حرکت موج سیل در کانال‌های طبیعی و مخازن را روندیابی سیل می‌نامند (چاو^۱، ۱۹۷۳). در یک تعریف کلی روندیابی جریان را می‌توان تجزیه و تحلیل مسیر جریان ورودی و نحوه حرکت موج سیل^۲ در یک سیستم هیدرولوژی دانست (بهبهانی، ۱۳۸۰، میرباقری، ۱۳۷۷). این روشها را بر اساس نحوه حل مسائل میتوان به دو گروه عمده روندیابی هیدرولیکی^۳ و روندیابی هیدرولوژیکی^۴ تقسیم بندی نمود (قدسیان، ۱۳۷۷) و (نجمایی، ۱۳۶۳). اگر جریان آب فقط به صورت تابعی از زمان در محلی مشخص روندیابی گردد، این نوع روش روندیابی هیدرولوژیکی و یا سیستم روندیابی متمرکز یا توده ای^۵ نامیده می شود (بهبهانی، ۱۳۸۰). انتخاب نوع روش در روندیابی سیل به ماهیت مساله و داده های موجود بستگی دارد. روشهای هیدرولوژیکی نسبت به روشهای هیدرولیکی نیاز به داده های کمتری دارند و با معادلات ساده تری به جواب میرسند و در مقایسه با روشهای هیدرولیکی نیز دقت قابل قبولی دارند. با بررسی روند عبور موج سیل در مجاری رودخانه‌ها می‌توان از بروز خسارات احتمالی در پایین دست هر مسیر و در محل تاسیسات شهری و صنعتی پیش‌گیری نمود و با اعلام زمان وقوع و ارتفاع حداکثر سیل نوع عملیات احتیاطی موثر را مشخص نمود، هم چنین به این طریق می‌توان ارتفاع سیل طراحی را برای دیواره های ساحلی و خاکریزهای حفاظتی تعیین و هزینه‌های مربوط به احداث سازه‌های مختلف را مقایسه و مناسب‌ترین گزینه ممکن را انتخاب نمود. به علت وجود یکی از پل‌های ارتباطی بین مسیر ترانزیتی گناوه در مسیر رودخانه و به زیر آب رفتن این پل در مواقع سیلابی و به خطر افتادن جان افراد در حال عبور بر روی پل نیازمند است تا ارتفاع آب

در محل پل که ایستگاه‌های پایین دست تحقیق حاضر نیز می‌باشد مشخص گردد. رابطه بین ذخیره و جریان خروجی در کنال‌ها پیچیده است و تفاوت روش‌های متعدد ارائه شده برای روندیابی رودخانه، در مکانیزم بر قرار کردن این رابطه است (نجفی، 1387). مباحث بی نظیری از این روشها در منابع از قبیل گیلکرس^۱ (1950)، لاولر^۲ (1964)، دوگ^۳ (1986) و فرید^۴ (1981) موجود است. دلفی و همکاران (2010) به مطالعه کاربرد روش موج پخشیدگی در مسیریابی سیلاب در رودخانه کارون پرداختند. در این مطالعه نتایج روش‌های روندیابی سیلاب با موج کامل و موج پخشیدگی در بازه ملاثانی - اهواز مقایسه شده است. نتایج نشان داد که این روش تطابق خوبی با مشاهدات دارد. از این رو می‌توان از شبیه سازی مسیریابی سیل با استفاده از حل تحلیلی، نیمه تحلیلی و عددی از نوع انتشار معادلات سنت و نانت در این قسمت از رودخانه کارون استفاده کرد. پیشرفت‌های مختلف در زمینه سخت افزار و نرم افزار باعث شده که نرم افزارهای تخصصی روندیابی نیز توسعه یابند. از این دست می‌توان به نرم افزارهای HEC-RAS، HEC-HMS، MIKE11 و MIKE21 و نرم افزارهای شبکه عصبی مصنوعی اشاره کرد. در تحقیق براتی (1391) خود جنبه‌های مختلف مدل‌های هیدرولوژی شامل رویه‌های ماسکینگام خطی، ماسکینگام غیرخطی، کانوکس، آت‌کین اصلاح شده و مقادیر اجرایی از طریق چهار مثال سنگ محک و همچنین بررسی میدانی در رودخانه کارون با استفاده از هشت سیلاب مشاهداتی، بررسی شده است. معیارهایی که برای ارزیابی مدل‌ها استفاده شده‌اند، شامل معیارهای فروکش دبی اوج (E)، تأخیر زمانی دبی اوج (F) و متوسط درصد خطای نسبی (E) هستند. نتایج وی نشان داد که عامل اصلی برای بررسی کارایی یک مدل هیدرولوژی، معادله میان دبی و ذخیره است که به مشخصات

3- Dooge

4- Fread

1- Gilcrest

2- Lawler

بدست آمد. در نهایت نتیجه گیری گردید که این روش از سایر روش‌های روندیابی سیل، که در دقیق‌ترین حالت خود شامل حل کامل معادلات سنت و نلانت هستند، ساده‌تر می باشد.

مطالعه بایرامی و همکاران (2019) یک مدل جدید ماسکینگام را ارائه می‌کند که در آن از معادله ذخیره‌سازی خطی و معادله پیوستگی با مشتق کسری استفاده شده است. مدل جدید می تواند امواج سیل را با رفتارهای خطی و غیرخطی شبیه سازی کند. مدل پیشنهادی ماسکینگام با ترتیب مشتق کسری بر روی سه مجموعه مختلف از داده‌های سیل پیاده‌سازی و آزمایش شد و نتایج نشان داد که مدل پیشنهادی ماسکینگام نتایج را بهبود می‌بخشد و ویژگی‌های موج سیل را با دقت بیشتری نسبت به مدل‌های خطی سنتی ماسکینگام تخمین می‌زند.

در پژوهش خلیفه و همکاران (1400) از الگوریتم نوین فراکوشی سنجاکک استفاده شده است. نتایج حاصل از الگوریتم سنجاکک (DA) برای ارزیابی و میزان کاربردی بودن آن با الگوریتم‌های ژنتیک (G) (A) و الگوریتم جست‌وجوی هارمونی (HS) مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم DA قادر است برآورد مناسبی از مقادیر بهینه‌ی پارامترهای مدل ماسکینگام غیرخطی را ارائه کند، به طوری که برای الگوریتم DA مقادیر SSQ و RMSE به ترتیب برای رودخانه‌ی کارده به عنوان مطالعه‌ی موردی برابر با 4/55 و 0/71 به دست آمد. این الگوریتم نوین می‌تواند برای هر مسئله‌ی بهینه‌سازی پیوسته در مهندسی مدیریت منابع آب مورد استفاده قرار گیرد.

نوروزی و بازرگان (2022) در پژوهش خود، در بررسی دقت روش ماسکینگام- کانج در بازه‌ی ملاتانی- اهواز در رودخانه کارون به این نتیجه رسیدند که اگر به جای استفاده از مقادیر ثابت برای پارامترهای روش ماسکینگام-کانج، از پارامترهای مختلف بر اساس تغییرات عمق جریان استفاده شود، دقت روش

هیدرولوژی و هیدرولیکی بازه رودخانه و مشخصات ذخیره موقت آن مرتبط است و دو مدل ماسکینگام خطی و غیرخطی به عنوان کاراترین مدل‌های هیدرولوژی برای استفاده در طراحی‌ها، در نبود داده‌های مورد نیاز برای مدل موج دینامیکی، پیشنهاد گردید.

ظهیری و همکاران (1391) در مقاله‌ی راه حل ساده و بهینه‌ی مبتنی بر روش ماسکینگام برای روندیابی سیل در رودخانه‌های سیلابی ارائه کردند. برای افزایش سرعت محاسبات، ضرایب این روش به کمک الگوریتم ژنتیک، به صورت بهینه محاسبه شد. برای ارزیابی نتایج از داده‌های آزمایشگاهی روندیابی سیل در دو کانال مرکب همگن و غیرهمگن استفاده شد که نشان داد روش ماسکینگام، به خوبی تغییرات دبی جریان را در طول کانال شبیه سازی نموده است. با اجرای مدل ریاضی یک بعدی RAS4-HEC، مشخص شد که نتایج این مدل ریاضی نسبت به نتایج روش پیشنهادی در تحقیق وی دارای خطای بیشتری است.

در تحقیق چابک پور و ذبیحی (1398) با استفاده از داده‌های دبی روزانه به مدت پانزده سال (سال‌های 2001 تا 2015) در شش ایستگاه هیدرومتری که در قالب سه بازه مطالعاتی بر روی رودخانه‌های زربینه‌رود و سیمینه‌رود قرار گرفته بودند و همچنین با استفاده از مدل تحلیلی ADZ اقدام به روندیابی سیلاب در رودخانه‌های مذکور گردید. در این مطالعه، بهترین توابع انتقال بدست آمده دارای یک زیربازه تشخیص داده شدند. سپس خود مقادیر ضرایب صورت و مخرج تابع انتقال در هر سه بازه، و در کنار آن پارامترهای آماری مربوط به توزیع‌ها نیز شامل پارامتر یانگ (YIC)، $Rt2$ و EVN استخراج گردید و مقادیر مربوط به این پارامترها برای بازه داشبند بوکان- پل بوکان، آلاسقل-صفاخانه و پل قشلاق-پل آنیان به ترتیب به صورت سری‌های سه تایی (5/241-، 0/879 و -10/86)، (3/954-، 0/903 و -9/43) و (2/792-، 0/920 و -8/139)

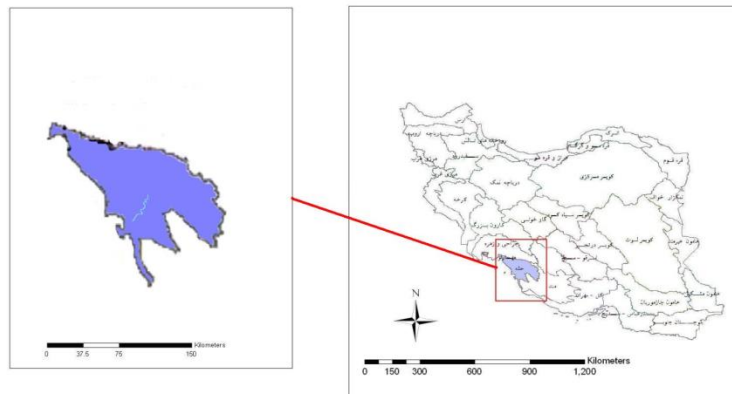
رودخانه دالکی در استان بوشهر انتخاب گردید که ایستگاه سرقنات (کد 025-23) با ارتفاع 119 متر از سطح دریا در بالادست بازه و ایستگاه کلل (کد 027-23) با ارتفاع 22 متر از سطح دریا، در انتهای آن واقع می‌شود. شیب طولی رودخانه در این بازه کم و برابر با 0/24 درصد است. ضریب زبری مانینگ 0/02 و عرض متوسط رودخانه 125 متر می‌باشد. هر دو ایستگاه دارای آمار طولانی و روزانه دبی و اشل می‌باشند. این رودخانه از ارتفاعات جره و نامور کازرون سرچشمه می‌گیرد و آب آن نیز دائمی و شیرین می‌باشد. در شکل 1، موقعیت بازه مورد نظر نشان داده شده است.

به ویژه در تخمین اوج هیدروگراف افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در نظر گرفتن ویژگی‌های هندسی کانال رودخانه و شرایط جریان در محدوده رودخانه مورد مطالعه و استفاده از روابط موج تک شیب برای محاسبه سرعت موج سینماتیکی، میانگین خطای نسبی (MRE) را کاهش داده و دقت روش را افزایش داده است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

برای انجام مطالعات و تعیین بازه مناسب، ابتدا با استفاده از نقشه رودخانه‌ها و نقشه موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری ایران، بازه ای به طول 37/7 کیلومتر در



نقشه موقعیت بازه سرقنات - کلل در حوزه رودخانه دالکی

نقشه تقسیمات هیدرولوژیکی رودخانه‌های بزرگ کشور بر اساس تقسیم بندی شرکت مهندسی تعاب

شکل 1- موقعیت بازه مورد نظر در منطقه و کشور

- استفاده از روش‌های آت کین و کانوکس (و زیر روش‌های آن) و تعیین هیدروگراف خروجی هر مدل
- مقایسه ی هیدروگراف خروجی هر مدل، با هیدروگراف خروجی واقعی که در ایستگاه پایین دست با کمک RMSE و R2 رخ داده است.
- تکرار مراحل بالا با جانشین کردن دبی‌های 50 درصد پیک و دبی متوسط بعنوان دبی مبنا
- استفاده از روش‌های روندیابی سیلاب کانوکس و آت-کین و انتخاب و معرفی مناسب‌ترین آنها
در جدول 1، مشخصات سیلاب‌های انتخابی بالادست و پایین دست آورده شده است.

روش تحقیق

مراحل انجام کار در این تحقیق بصورت گام به گام شامل موارد زیر می‌باشد.
- جمع آوری آمار دبی سیلابی و آمار دبی-اشل و دبی-سطح مقطع در ایستگاه‌های ابتدا و انتهای بازه انتخابی (سرقنات و کلل)
- انتخاب 26 هیدروگراف سیلی که از نقطه ی ورودی و نقطه خروجی عبور کرده است در گام زمانی دو ساعته Δt .
- تعیین اطلاعات مربوط به بازه شامل طول و عرض بازه، شیب بازه، و خصوصیات بستر از جمله ضریب زبری

جدول 1- مشخصات سیلاب های انتخابی بالادست و پایین دست

شماره سیل	زمان پایه سیلاب)	زمان پایه سیلاب	دبی پیک ورودی	دبی پیک خروجی
1	122	5	286	241/35
2	147	6	764.8	685/38
3	86	3	277	249/48
4	98	4	484/06	397/77
5	74	3	223/55	188/6
6	74	3	293/6	239
7	122	5	485/12	415/52
8	142	6	292	227
9	106	4	1026/32	846
10	154	6	511/91	438/5
11	130	5	488/8	403/69
12	108	4	318/22	255/11
13	98	4	327	277
14	140	6	403	360/3
15	152	6	794	620
16	122	5	358	296
17	106	4	322/9	275
18	170	7	589	493/7
19	190	8	1614	1299/7
20	106	4	300/6	253
21	110	4	499	374
22	180	7	1051	922
23	150	6	832	702/3
24	176	7	710	623
25	118	5	665	520
26	218	9	601	568

1

1- روش کانوکس^۱

این روش بر مبنای این استدلال است که جریان خروجی در هر زمان t به خروجی Q و ورودی I و ابتدای فاصله زمانی Δt بستگی دارد. فرض کنید C ثابت باشد و $0 \leq c \leq 1$ ، از این رو می توان نوشت:

(1)

$$Q_{t+\Delta t} = cI_t + (1-c)Q_t$$

(2)

$$c = \frac{\Delta t}{k} \quad \text{or} \quad \Delta t = ck$$

روش کانوکس یک روش دو پارامتری روندیابی سیل در رودخانه است. مزیت این روش آن است که در محاسبه $I_{t+\Delta t}$ در محاسبه $Q_{t+\Delta t}$ دخالتی ندارد، در نتیجه می تواند برای پیش بینی مورد استفاده قرار گیرد. برای تشریح بیشتر، اگر فاصله زمانی روندیابی یک روز باشد و اگر ورودی و خروجی امروز معلوم باشند، می توان خروجی فردا را بدون اطلاع از ورودی فردا پیش بینی کرد (سیمافر، 1370).

این روش با روش های دیگر روندیابی رودخانه به جهتی که خروجی بعد از یک فاصله زمان از شروع ورودی شروع می شود متفاوت است، از این رو واقعی تر

به نظر می رسد. در این روش، اوج هیدروگراف خروجی، هیدروگراف ورودی را مانند روش‌های روندیابی مخزن قطع نمی کند. به هر حال، حداکثر ذخیره در رودخانه مانند آنچه در بقیه روش‌های روندیابی وجود دارد، هنگامی به وقوع می پیوندد که ورودی و خروجی مساوی یکدیگر باشند.

(3)

ب- رابطه ی SCS: سازمان حفاظت خاک امریکا (1985) رابطه زیر را برای محاسبه ضریب C ارائه

(4)

ج- رابطه رگرسیون خطی: یکی از دقیق ترین راه‌های محاسبه مقدار C، مقایسه بین هیدروگراف‌های

(5)

این رابطه، مشابه معادله خطی است که از مبدا مختصات می گذرد ($y = bx$) و مقدار ضریب زاویه

(6)

معادله $C = \frac{\Delta t}{k}$ نشان می دهد که Δt برای

مقادیر معلوم C و k قابل محاسبه است. مقدار Δt محاسبه شده به این روش ممکن است برای محاسبات روندیابی مناسب نباشد. رابطه کانوکس هنگامی برقرار خواهد بود که فواصل زمانی انتخاب شده (Δt)

(7)

1-1- روش‌های محاسبه ضریب کانوکس

برای محاسبه ضریب C، راه‌های گوناگونی وجود دارند که مهم ترین آنها به شرح زیر است:
الف- رابطه سینگ: سینگ (1988) رابطه زیر را برای محاسبه پارامتر کانوکس ارائه داده است.

$$C = \frac{\bar{V}}{1.7 + \bar{V}}$$

داده است که در آن، V سرعت متوسط آب در بازه مورد نظر بر حسب متر به ثانیه می باشد.

$$C = \frac{\bar{V}}{\bar{V} + 0.518}$$

ورودی و خروجی واقعی می باشد. در این روش، معادله کانوکس را می توان به صورت زیر نمایش داد:

$$Q_2 - Q_1 = C(I_1 - Q_1)$$

آن $\left(b = \frac{\sum XY}{\sum X^2} \right)$ می باشد. بر این اساس داریم:

$$C = \frac{\sum [(Q_2 - Q_1)(I_1 - Q_1)]}{\sum [(I_1 - Q_1)^2]}$$

مساوی یا کوچکتر از یک پنجم زمان تا اوج (t_p) هیدروگراف ورودی باشند. سازمان حفاظت خاک (1964) توصیه کرده است که مقدار مناسب Δt انتخاب شود و سپس C به وسیله معادله زیر تصحیح گردد:

$$c^* = 1 - (1 - c)^{\Delta t^* / \Delta t}$$

c^* مقدار تصحیح شده C است که در محاسبات به همراه فاصله زمانی مورد نظر Δt^* باید از آن استفاده کرد.

1-2- روش آت-کین اصلاح شده^۱

چنانچه معادله پیوستگی را به ازای Q_2 حل کنیم خواهیم داشت:

$$Q_2 = \frac{2\Delta t}{2K + \Delta t} I_1 + \left(1 - \frac{2\Delta t}{2K + \Delta t} \right) Q_1 \quad (8)$$

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

$$Q_2 = C_m I_1 + (1 - C_m) Q_1 \quad (9)$$

مقدار m ، بر اساس رابطه $(Q = A \cdot V)$ ، برای هر مقطع از رودخانه می توان رابطه ای بین دبی و سطح مقطع، به شکل زیر برقرار کرد: (مشابه چنین معادله ای را نیز می توان بین دبی و عمق جریان برقرار ساخت)

$$Q = xA^m$$

با در نظر گرفتن معادله مانینگ و قرار دادن $\frac{A}{P}$ به جای شعاع هیدرولیکی و مقایسه آن با معادله $Q = xA^m$ خواهیم داشت:

$$x = \frac{1}{n} S^{\frac{1}{2}} P^{-\frac{2}{3}}, \quad m = \frac{5}{3} \quad (11)$$

3- با استفاده از رابطه روندیابی آت- کین، مختصات هیدروگراف خروجی (ناشی از مدل) تعیین می شود.

سنجش دقت مدلها و انتخاب مناسبترین مدل

از مقایسه هیدروگراف های مشاهده ای ایستگاه کلل (خروجی) و هیدروگراف های محاسباتی در خروجی تخمینی حاصل از مدل های مختلف ذکر شده و با استفاده از شاخص های آماری مجموع مربعات خطا و ضریب کارایی و مقایسه چشمی کم خطا ترین روش یا مناسبترین روش انتخاب میگردد. هر چه میزان ضریب کارایی¹ به 1 نزدیکتر باشد، مجذور میانگین مربعات خطا² به صفر میل کند مدل از نظر آماری قابل قبول تر است. در تحقیق حاضر از فرمول زیر برای مقایسه کمی بین مقادیر مشاهداتی و مقادیر تخمینی هیدروگراف استفاده شده است.

$$R.M.S.E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - Q_e)^2}{n}} \quad (12)$$

در رابطه بالا:

$RMSE$: مجذور میانگین مربعات خطا (متر مکعب بر ثانیه)

Q_o, Q_e : به ترتیب دبی هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در لحظه t می باشند.

برای به دست آوردن مقدار K از رابطه $K = \frac{L}{mV}$ استفاده می گردد که در آن L طول مسیر همگن رودخانه (بازه) به متر، V سرعت متوسط آب به متر بر ثانیه و m ضریب معادله می باشد. به منظور تعیین

که S شیب رودخانه بر حسب متر به متر، n ضریب زبری مانینگ و P محیط خیس شده می باشد. در عمل ابتدا رابطه ای را بین سطح مقطع و دبی جریان، $(Q = xA^m)$ برقرار ساخته و مقادیر x و m را به دست می آورند، سپس با استفاده از معادله آت - کین، دبی خروجی را در زمان های مختلف برآورد کرده و هیدروگراف خروجی از بازه را به دست می آورند. به طور کلی انجام روندیابی در این روش شامل مراحل زیر است:

- 1- با استفاده از مشخصات مقاطع رودخانه، ضرایب x و m تعیین می گردند.
- 2- مقدار ضریب k و پس از آن C_m از معادلات مربوطه محاسبه می شوند.

1 - Coefficient of Efficiency

2 - Root Mean Square Error

نتایج

1- نتایج استفاده از فرمول تجربی سینک جهت

$$C = \frac{V}{V+1.7}$$

برای تعیین C در این روش ابتدا با توجه به مقدار دبی مبنا (دبی پیک هیدروگراف مربوطه و یا دبی 50 درصد آن) و ابعاد سطح مقطع کانال، سرعت متوسط جریان محاسبه شده، و با توجه به سرعت بدست آمده مقادیر ضریب کانوکس C و زمان پیمایش k محاسبه شد. dt ها طوری انتخاب شدند که شرایط $dt \leq 0.2t_p$ و $\frac{k}{3} < dt < k$ را داشته باشند. پس از محاسبه ی ضریب کانوکس و گام زمانی برای هر یک از 26 هیدروگراف ورودی موجود، روندیابی برای تک تک آنها انجام شد و 26 هیدروگراف خروجی بدست آمد. که یکی از این 26 هیدروگراف در شکل 2 جهت مقایسه با هیدروگراف خروجی واقعی نمایش داده شده است. مقادیر میانگین RMSE نیز بعنوان شاخص تعیین دقت روش محاسبه شد که در جداول 5 و 6 آمده است.

2- نتایج استفاده از فرمول تجربی SCS جهت

تعیین ضریب کانوکس

مراحل محاسبه ضریب کانوکس در این روش دقیقاً مشابه مراحل روش سینک است و تنها تفاوت آنها در رابطه ای است که برای مقدار C استفاده میشود. پس از محاسبه ی ضریب کانوکس و گام زمانی برای هر یک از 26 هیدروگراف ورودی موجود، روندیابی برای تک تک آنها انجام شد و 26 هیدروگراف خروجی بدست آمد. که اولین، ششمین، شانزدهمین و آخرین هیدروگراف در شکل های 2، 3، 4 و 5 جهت مقایسه با هیدروگراف خروجی واقعی نمایش داده شده است. مقادیر میانگین RMSE نیز بعنوان شاخص تعیین دقت روش محاسبه شد که در جداول 5 و 6 آمده است.

3- استفاده رابطه رگرسیون خطی جهت تعیین

ضریب کانوکس

در این روش با استفاده از داده های هیدروگراف مشاهده ای ورودی و خروجی و با استفاده از رابطه 6، مقدار ضریب کانوکس برای 26 هیدروگراف (گام زمانی انتخابی 3 ساعت است) بدست آمد (جدول 3). به عنوان نمونه محاسبات مربوط به سیل شماره 3 در جدول 2 آورده شده است. در این روش نیاز به تعیین دبی مبنا جهت محاسبات وجود ندارد.

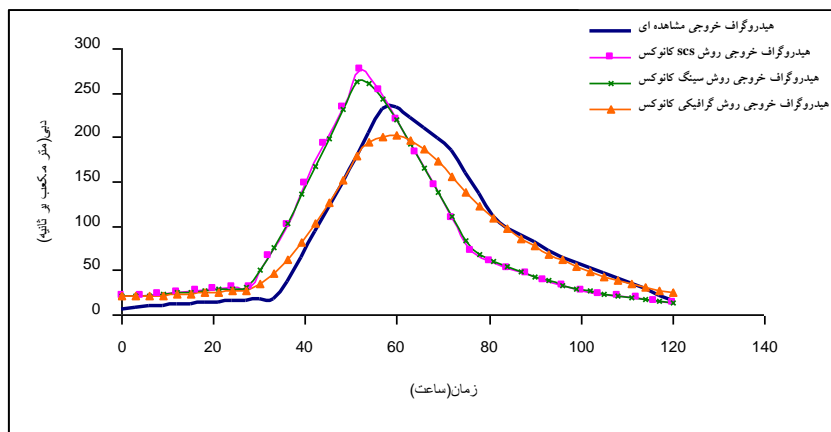
جدول 2- برآورد مقدار ضریب کانوکس به روش ترسیمی برای سیلاب شماره 3

dt	I	Q	$(O_2 - O_1)$	$(I_1 - O_1)$	$(O_2 - O_1) (I_1 - O_1)$	$(I_1 - O_1)^2$
0	27/1	7/45	6/05	19/65	118/88	386/12
3	35/83	13/5	6/1	22/33	136/21	498/62
6	44/02	19/6	4/05	24/42	98/90	596/33
---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---
78	16/86	54/18	-17/52	-37/32	653/84	1392/78
81	13/44	36/66	-17/55	-23/22	407/51	539/16
84	10	19/11	-19/11	-9/11	174/09	82/99
					206173/74	914432/62
						0/297

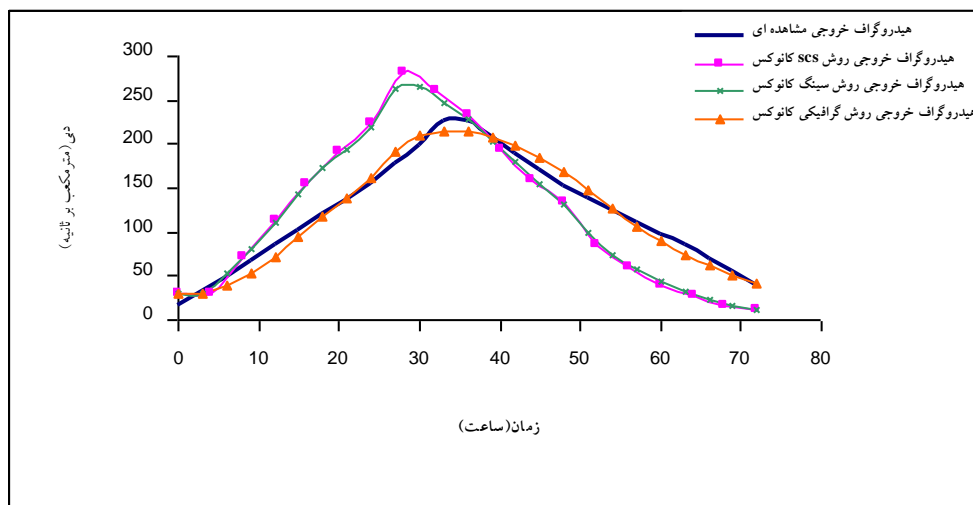
جدول 3- مراحل تعیین ضریب کانوکس و گام زمانی مربوطه با استفاده از رابطه SCS، سینک، و رگرسیون خطی

گام زمانی انتخابی	ضریب کانوکس به روش رگرسیون نی	گام زمانی انتخابی (ساعت)		ضریب کانوکس $C = \frac{\bar{V}}{0.518 + \bar{V}}$		$\frac{k}{3} < dt < k$ و $dt = ck$		ضریب کانوکس $C = \frac{V}{V+1.7}$		زمان پیمایش (ساعت) $K = \frac{L}{V}$		سرعت جریان		شماره سپیل
		0/5Q _p	Q _p	0/5Q _p	Q _p	0/5Q _p	Q _p	0/5Q _p	Q _p	0/5Q _p	Q _p	0/5Q _p	Q _p	
3	0/198	5	4	7	/82 0/8	3	3	52	/58 0/0	6	4	806	384	1
3	0/225	3	3	8	/87 0/4	2	2	61	/68 0/0	4	3	677	533	2
3	0/297	5	4	7	/82 0/7	3	3	51	/58 0/0	6	4	783	353	3
3	0/221	4	3	8	/85 0/1	3	2	57	/63 0/0	5	4	230	942	4
3	0/334	5	4	7	/81 0/6	3	3	49	/56 0/0	6	5	637	160	5
3	0/232	4	4	7	/82 0/8	3	3	52	/59 0/0	6	4	825	409	6
3	0/197	4	3	8	/85 0/1	3	2	57	/63 0/0	5	4	232	945	7
3	0/124	4	4	7	/82 0/8	3	3	52	/59 0/0	6	4	821	403	8
3	0/214	3	2	8	/88 0/5	2	2	64	/70 0/0	3	3	011	974	9
3	0/190	4	3	8	/85 0/1	3	2	57	/64 0/0	5	3	280	009	10
3	0/171	4	3	8	/85 0/1	3	2	57	/63 0/0	5	4	238	953	11
3	0/148	4	3	7	/83 0/8	3	3	53	/59 0/0	6	4	885	488	12
3	0/219	4	3	7	/83 0/9	3	2	53	/60 0/0	5	4	906	515	13
3	0/186	4	3	8	/84 0/0	3	2	55	/62 0/0	5	4	072	734	14
3	0/194	3	3	8	/87 0/4	2	2	62	/68 0/0	4	3	718	586	15
3	0/208	4	3	7	/83 0/9	3	2	54	/61 0/0	5	4	976	608	16
3	0/289	4	3	7	/83 0/9	3	2	53	/60 0/0	6	4	896	502	17
3	0/222	4	3	8	/86 0/2	3	2	59	/65 0/0	4	3	412	182	18
3	0/172	3	2	8	/90 0/7	2	2	68	/74 0/0	3	2	609	763	19

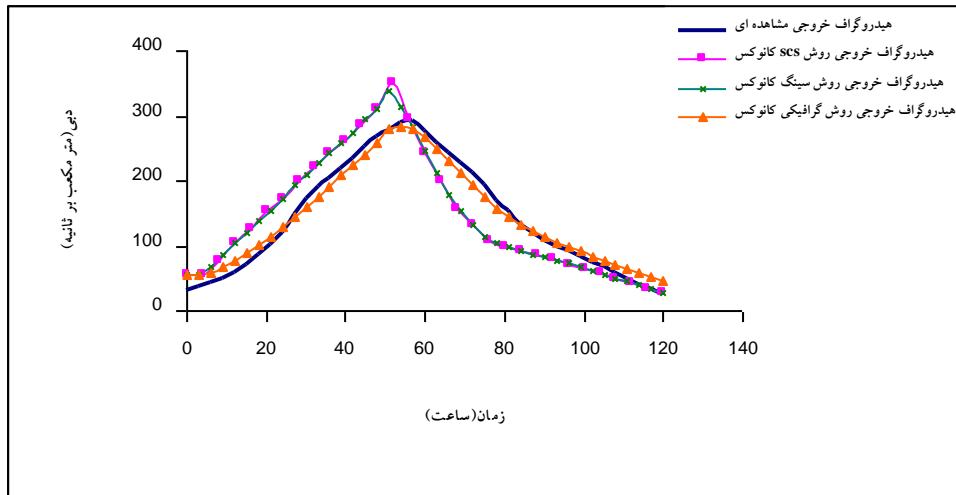
3	0/227	4	4	7 0/8	/82 0	3	3	52 0/	/59 0	6	4	843 1/	432 2/	20
3	0/133	4	3	8 0/1	/85 0	3	2	57 0/	/64 0	5	4	257 2/	978 2/	21
3	0/204	3	2	8 0/5	/89 0	2	2	64 0/	/70 0	3	3	040 3/	012 4/	22
3	0/222	3	3	8 0/4	/88 0	2	2	62 0/	/68 0	4	3	769 2/	654 3/	23
3	0/200	3	3	8 0/3	/87 0	2	2	60 0/	/67 0	4	3	599 2/	429 3/	24
3	0/233	3	3	8 0/3	/87 0	2	2	60 0/	/66 0	4	3	532 2/	340 3/	25
3	0/169	4	3	8 0/2	/86 0	3	2	59 0/	/65 0	4	3	431 2/	208 3/	26



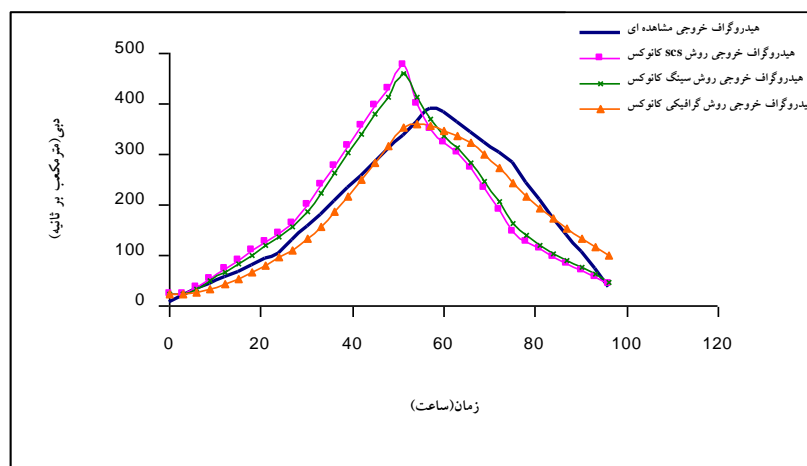
شکل 2- هیدروگراف‌های برآوردی و مشاهده‌ای با استفاده از روش‌های مختلف تخمین ضریب مدل کانوکس برای سیلاب شماره 1



شکل 3- هیدروگراف‌های برآوردی و مشاهده ای با استفاده از روش‌های مختلف تخمین ضریب مدل کانوکس برای سیلاب شماره 6



شکل 4- هیدروگراف‌های برآوردی و مشاهده ای با استفاده از روش‌های مختلف تخمین ضریب مدل کانوکس برای سیلاب شماره 16



شکل 5- هیدروگراف‌های برآوردی و مشاهده ای با استفاده از روش‌های مختلف تخمین ضریب مدل کانوکس برای سیلاب شماره 26

شد (جدول 4). سپس برای هر روش هیدروگراف ورودی برای 26 سیل روند گردید، نتایج هیدروگراف بدست آمده با هیدروگراف مشاهده ای مورد مقایسه قرار گرفته است که نتایج آن در جداول 5 و 6 ارائه شده است.

4- نتایج اطلاعات مربوط به روش آت-کین: برای تعیین ضریب آت-کین در این روش ابتدا با توجه به رابطه (10) و با استفاده از مشخصات مقاطع رودخانه، ضریب m تعیین شده $(1/6)$ و سپس به ترتیب مقادیر dt ، k و ضریب آت-کین (C_m) تعیین

جدول 4- مقادیر ضریب آت- کین و مراحل محاسبه آن

ضریب آت- کین C_m		$\frac{k}{3} < dt < k$		زمان پیمایش (ساعت) $k = \frac{L}{mV}$		ش ماره سیل	ضریب آت- کین C_m		$\frac{k}{3} < dt < k$		زمان پیمایش (ساعت) $k = \frac{L}{mV}$		شماره سیل
$10^5 Q_p$	Q_p	$10^5 Q_p$	Q_p	$10^5 Q_p$	Q_p		$10^5 Q_p$	Q_p	$10^5 Q_p$	Q_p	$10^5 Q_p$	Q_p	
0/33	41 0/	2	2	5	4	14	0/29	37 0/	2	2	6	4	1
0/41	51 0/	2	2	4	3	15	0/41	50 0/	2	2	4	3	2
0/32	40 0/	2	2	5	4	16	0/29	37 0/	2	2	6	4	3
0/31	39 0/	2	2	6	4	17	0/35	44 0/	2	2	5	4	4
0/37	47 0/	2	2	4	3	18	0/27	34 0/	2	2	6	5	5
0/29	37 0/	1	1	3	2	19	0/30	37 0/	2	2	6	4	6
0/30	38 0/	2	2	6	4	20	0/35	44 0/	2	2	5	4	7
0/35	44 0/	2	2	5	4	21	0/30	37 0/	2	2	6	4	8
0/25	32 0/	1	1	3	3	22	0/25	32 0/	1	1	3	3	9
0/42	52 0/	2	2	4	3	23	0/36	45 0/	2	2	5	3	1 0
0/40	49 0/	2	2	4	3	24	0/35	44 0/	2	2	5	4	1 1
0/39	48 0/	2	2	4	3	25	0/30	38 0/	2	2	6	4	1 2
0/38	47 0/	2	2	4	3	26	0/31	39 0/	2	2	5	4	1 3

هیدروگراف مشاهداتی و هیدروگراف مستخرج از مدل شباهت بیشتری وجود دارد. چنانچه دو هیدروگراف کاملاً مشابه باشند مقدار آن صفر خواهد بود. RMSE هم واحد با داده هاست. مقادیر آن برای روش‌های مختلف تعیین ضریب کانوکس و ضریب آت کین در جداول 5 و 6 آورده شده است.

5- نتایج مقایسه میزان خطاهای روش‌های مختلف روندیابی

در تحقیق حاضر جهت مقایسه خطاها از آماره ی RMSE ، استفاده شد چراکه در اغلب تحقیقات انجام شده این شاخص مناسبترین شاخص معرفی شده است. هرچه خطای ریشه مجذور مربعات کمتر باشد یعنی بین

جدول 5- مقایسه مقادیر RMSE مربوط به Q_p روش های مختلف روندیابی

شماره سیلاب	کانوکس روش SCS	کانوکس روش گرافیکی (رگرسیون)	کانوکس روش سینگ	روش آت- کین
1	44/75	15/01	41/36	36/11
26	73/44	23/18	72/49	71/3
میانگین خطا	79/3	21/36	77/87	70/16

جدول 6- مقایسه مقادیر RMSE مربوط به Q_p روش های مختلف روندیابی

شماره سیلاب	کانوکس روش SCS	کانوکس روش گرافیکی (رگرسیون)	کانوکس روش سینگ	روش آت- کین
1	46/05	15/01	44/32	43
26	74/79	23/18	75/26	77/23
میانگین خطا	80/88	21/36	81/40	78/50

بحث و نتیجه گیری

با بررسی روند عبور موج سیل در مجاری رودخانه‌ها می‌توان از بروز خسارات احتمالی در پایین دست هر مسیر و در محل تاسیسات شهری و صنعتی پیش‌گیری نمود و با اعلام زمان وقوع و ارتفاع حداکثر سیل نوع عملیات احتیاطی موثر را مشخص نمود، هم چنین به این طریق می‌توان ارتفاع سیل طراحی را برای دیواره های ساحلی و خاکریزهای حفاظتی تعیین و هزینه‌های مربوط به احداث سازه‌های مختلف را مقایسه و مناسب-ترین گزینه ممکن را انتخاب نمود.

در تحقیق حاضر در مجموع چهار روش با هم مقایسه شدند که سه روش آن زیر روشهای مدل کانوکس بوده و دیگری مدل آت کین نام داشت. چنانچه دبی مبنای محاسبات، دبی 50 درصد پیک انتخاب شود مدلها نتایج بهتری میدهند که با تحقیقات دهقانی و کرمی (1383) همخوانی دارد. معیارهای مختلفی برای برآورد خطا و دقت مدل توسط محققان مختلف به کار گرفته

شده است که از جمله معیار خطای نسبی دبی پیک، خطای نسبی زمان تا اوج، معیار ضریب تبیین معیار کای اسکور ضریب ناش-شوکلپتیش و معیار ریشه مجذور مربعات خطا، که هر یک کارایی و یا نقص مربوط به خود را دارد. تحقیقات عباسی زاده (1389) نشان می دهد که از بین معیارهای مختلف تعیین دقت مدل، معیار RMSE بهترین هم خوانی را با دید چشمی و مشاهدات عینی دارد.

همانطور که در جداول 5 و 6 نمایان است مقادیر خطا در همه ی روشهای یه کار گرفته شده در این تحقیق در دبی 50درصد مقدار کمتری را نشان میدهند. در روش آت کین مقدار خطا در شرایط استفاده از دبی پیک و دبی 50 درصد پیک از 78/5 متر مکعب بر ثانیه به 70/17 متر مکعب بر ثانیه رسیده است. در سایر روشها نیز همین گونه است. در روش رگرسیونی کانوکس (یا روش گرافیکی) نیاز به استفاده از دبی مبنا در طی مراحل تعیین ضریب کانوکس وجود ندارد لذا در هر دو

باشند. هر چند مقدار اختلاف دو روش سینگ و SCS جدی نیست.

با توجه به اینکه امروزه اهمیت روشهای هوش مصنوعی برای محققین شناخته شده تر میباشد پیشنهاد می شود که از روش هوش مصنوعی هم در بهینه کردن نتایج روشهای کانوکس و آت کین و سایر روشهای شناخته شده روندیابی سیلاب و هم به عنوان روشی مستقل جهت تخمین و پیش بینی هیدروگرافهای خروجی استفاده گردد.

جدول اخیر مقادیر یکسانی از خطا برای آن درج شده است. با توجه به نتایج ذکر شده توصیه می شود که محققان در همان ابتدای روندیابی، دبی 50 درصد پیک را مورد استفاده قرار دهند. همچنین با مقایسه نتایج خطای RMSE مشخص شد که روش گرافیکی یا رگرسیونی کانوکس از همه ی روشهای دیگر در این تحقیق مناسبتر است با مقدار خطای متوسط 21/26 مترمکعب برثانیه. و پس از آن به ترتیب بهترین روشها شامل آت کین، سینگ و SCS با مقدار RMSE 70/16، 77/87 و 79/3 متر مکعب بر ثانیه می

منابع

- 1- براتی، رضا ، و اکبری، غلامحسین. (1391). مقایسه مدل های هیدرولوژی روندیابی سیل در رودخانه ها. پژوهش آب ایران. 6(2)، 105-114.
- 2- بهبهانی، سید محمود، (1380)، هیدرولوژی آبهای سطحی. تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- 3- ظهیری، ع.، شریفان، ح.، و تمدنی کناری، س. (1391). بهینه سازی روش ماسکینگام در روندیابی سیل در رودخانه های سیلابی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، 3(6)، 1-14. SID. <https://sid.ir/paper/230346/fa>
- 4- چلیک پور، جعفر و ذبیحی، محمد. (1398). ارزیابی روش تابع انتقال برای روندیابی سیلاب در بازه های رودخانه های نشریه هیدرولیک، 14(2)، 145-158. doi: 10.30482/jhyd.2019.177469.1381
- 5- خلیفه، سعید، خدشناس، سعید رضا & اسماعیلی، کاظم. (1400). تخمین پارامترهای غیرخطی مدل ماسکینگام در مدل روندیابی سیلاب با الگوریتم نوین سنجاکک. مهندسی عمران.
- 6- دهقانی، مرتضی و کرمی، علی، (1383)، ارزیابی کارایی روشهای روندیابی سیلاب در رودخانه جزرومدی زهره. تهران، پایانامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- 7- سیمافر، شجاع الدین، (1370)، هیدرولوژی مهندسی. تبریز، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند.
- 8- سینگ، ویجی، (1381)، سیستم های هیدرولوژیکی مدلسازی بارندگی- رواناب. ترجمه محمدرضا نجفی، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- 9- عباسی زاده، مجید، مهدوی، محمد و سلاجقه، علی، (1389)، ارزیابی کارایی روش های روندیابی هیدرولوژیکی سیل در رودخانه دز، جغرافیای طبیعی، 3(9)، 63-76. [Online]. Available: <https://sid.ir/paper/185023/fa>
- 10- قدسیان، مسعود، (1377)، مهار سیل و مهندسی زهکشی. تهران، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس.
- 11- میرباقری، احمد، (1377)، هیدرولوژی مهندسی. شیراز، انتشارات دانشگاه شیراز.
- 12- نجفی، م.ر. (1387). سیستم های هیدرولوژیکی. جلد دوم انتشارات دانشگاه تهران.
- 13- نجمایی، محمد، (1363)، هیدرولیک کاربردی. جلد دوم، تهران، انتشارات دانشگاه علم و صنعت.

- 14-Bayrami, M., Vatankhah, A., & Nazi Ghameshlou, A. (2019). Flood Routing using Muskingum Model with Fractional Derivative. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(7), 1667-1676. doi: 10.22059/ijswr.2019.275566.668120.
- 15- Chow, V. T. (1973). *Open channel hydraulics*. McGraw Hill Book Company, New York.
- 16-Delphi, M., Mahmoodian Shooshtari, M., Hassoni Zadeh, H., (2010) ,Application of Diffusion Wave Method for Flood Routing in Karun River, *International Journal of Environmental Science and Development* vol. 1, no. 5, pp. 432-434.
- 17-Dooge, J. C. I., Napiórkowski, J. J., (1987), "The effect of the downstream boundary conditions in the linearised St Venant equations." *The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 2: 245–256.
- 18-Fread, D. L.(1981). Flood routing: a synopsis of past, present, and future capability. *Proc, Int, Symp, Rainfall – Runoff modeling*, Mississippi, USA, pp: 521-541.
- 19-Gilcrest, B. R., (1950), *Flood Routing in Engineering Hydraulics*. Edited by H. Rouse, John Wiley and Sons, Inc., New York, pp. 635-710.
- 20-Lawler, E. A., (1964), Flood routing. In: *US Army Corps of Engineers (ed.) Handbook of Applied Hydrology, Section 25-II River Division*. US Army Corps of Engineers, Ohio, USA. 35-58o
- 21-Norouzi, H., Bazargan, J., (2022), Flood routing using the Muskingum-Cunge method and application of different routing parameters. *Sādhanā* 47, 282. <https://doi.org/10.1007/s12046-022-02049-0>
- 22-SCS. (1985), *Natural Engineering Handbook, Section ,8, Flood Routing*, US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Washington, D.C,175P.
- 23-Singh, V. P., (1988), *Hydrology System*. Prentice Hall, 480P.

Comparison of the accuracy of the Modified At-kin and the Convex methods in flood routing in a Dalaki River reach

Abstract

In this research, using two hydrological methods, convex and At-Kin, the flood routing was investigated in the Sarqanat and Kalel reach located in the Dalki River. To perform this operation, 26 flood hydrographs were selected as input to the model. and the output hydrographs of the models were compared to the observed output hydrograph at the station located in downstream of reach. In order to evaluate the efficiency and accuracy of the models, the RMSE was used. The results showed that the hydrological method of Atkin is significantly less accurate than the graphic (regression) method of Convex, but it is more accurate compared to the two sub-methods of Singh and SCS of Convex. Also it was found that the graphical method of Convex (or regression) with an average error value of 21.26 m³/s. is more suitable than other methods in this research. And then the best methods include Atkin, Singh and SCS with RMSE values of 70.16, 77.87 and 79.3 m³/s. However, the difference between Singh and SCS methods is not serious.

The RMSE values in all methods used in this research show a lower value in 50% Q_p compared to the Q_p. In Atkin's method, the amount of error in the conditions of using 50% Q_p has reached from 78.5 to 70.71 m³/s. According to the mentioned results, it is recommended that researchers use 50% Q_p in flood routing operation.

Keywords: flood routing, At-Kin method, RMSE, Convex method, Dalaki River