

یادداشت فنی

تحلیل حساسیت پارامترهای روندیابی سیلاب با مدل موج دینامیکی

رضا براتی^{۱*}، غلامحسین اکبری^۲، علی‌رضا حسین‌نژاد دوین^۳ و مسعود آرامی فدافن^۴

چکیده

آگاهی از شدت وقوع سیلاب، نقش به‌سزایی در کاهش خسارت‌های جانی و مالی ناشی از آن دارد. هنگامی که موج سیل به سمت پایین‌دست رودخانه حرکت می‌کند، مشخصات آن نظیر اوج، زمان تا اوج و زمان تداوم هیدروگراف به سبب اختلالات و زبری کانال تغییر می‌کند. در این مطالعه معادلات یک بعدی سنت و نانت با کمک روش پریسمن که یک روش تفاضل محدود ضمنی است، در نرم‌افزار مطلب مدل شده‌اند. سپس تحلیل حساسیت پارامترهای روندیابی سیلاب به وسیله بررسی داده‌های سه حوضه مورد مطالعه قرار گرفته است. بررسی تحلیلی نتایج نشان می‌دهد که متوسط قدر مطلق مقادیر نمایه حساسیت برای پارامترهای دبی اوج و ضریب زبری به ترتیب ۵۹/۳۳ و ۲۹/۹۵ درصد است، که نسبت به بقیه پارامترهای ورودی بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت که خروجی‌های مدل موج دینامیکی حساسیت بیشتری نسبت به این پارامترها دارند.

واژه‌های کلیدی: معادلات سنت و نانت، مدل هیدرولیکی، روش پریسمن، تحلیل حساسیت.

ارجاع: براتی ر. اکبری غ. حسین‌نژاد دوین ع.ر. و آرامی فدافن م. ۱۳۹۰. تحلیل حساسیت پارامترهای روندیابی سیلاب با مدل موج دینامیکی. مجله پژوهش آب ایران. ۲۰۳-۲۰۸: (۸)۵.

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، باشگاه پژوهشگران جوان، مشهد، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

* نویسنده مسئول: r88barati@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۱۰/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۱۱

مقدمه

مساله انتشار موج سیل در طول یک رودخانه و تعیین دبی سیلاب در مقاطع و زمان‌های مشخص کاربردهای متعددی در طراحی سیستم‌های هشدار سیل، تعیین حریم رودخانه‌ها و طراحی سازه‌هایی از قبیل دیوارهای سیل‌بند دارد.

معادلات حاکم بر حرکت موج سیلاب معادلات سنت‌ونانت می‌باشند. در به‌دست آوردن این معادلات فرضیاتی شامل: ۱- شتاب قائم ناچیز و توزیع فشار هیدرواستاتیک ۲- توزیع یکنواخت سرعت در مقطع کانال ۳- متوسط شیب کف در طول کانال کم و ۴- جریان همگن و غیر قابل تراکم، استفاده شده‌اند (آکان، ۲۰۰۶). معادلات سنت‌ونانت از نوع معادلات دیفرانسیل جزئی غیرخطی هایدربولیک هستند و از روش‌های عددی برای حل آن‌ها استفاده می‌شود. لیجیت و کونژ (۱۹۷۵) روش پریسمن را که در سال ۱۹۶۱ توسط پریسمن و کونژ بنا نهاده شده بود در محاسبه عمق و سرعت جریان‌های ناپایدار استفاده کردند.

نتایج تحقیق آن‌ها ثابت کرد که این روش برای شبیه‌سازی سیلاب کارایی مناسب دارد. فتوحی و حسینی (۱۳۸۶) به بررسی تحلیل حساسیت تلفات انتقال در رودخانه‌های مناطق خشک با استفاده از روش پریسمن پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد خروجی‌های مدل حساسیت بیشتری نسبت به طول بازه و ضریب هدایت هیدرولیکی دارند. در پژوهش حاضر، یک مدل روندیابی دینامیکی با کمک روش پریسمن برای پیش‌بینی حرکت موج سیل توسعه داده شده است. برای اطمینان از صحت مدل از داده‌های سیلاب‌های تک و چند پیکه رودخانه‌های سرباز و کارون استفاده و سپس مدل دینامیکی در حساسیت‌سنجی پارامترهای روندیابی جریان در یک رودخانه دائم (رودخانه فریزی) به‌کار گرفته شده است.

مواد و روش‌ها

معادلات سنت‌ونانت شامل معادله پیوستگی (معادله ۱) و معادله اندازه حرکت (معادله ۲) هستند.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (2)$$

در معادلات فوق A سطح جریان، Q دبی جریان، x و t به ترتیب متغیرهای زمان و مکان، g شتاب گرانشی و S_f شیب اصطکاکی را نشان می‌دهند. همچنین $h = y + Z_b$ تراز سطح آب اندازه‌گیری شده از سطح مبنای افقی است که در آن y عمق جریان و Z_b تراز کف کانال بالای سطح مبنای افقی هستند (آکان، ۲۰۰۶).

در روش پریسمن (کونژ، هولی و وروی، ۱۹۸۰) برای حل معادلات حاکم، از تقریب‌های تفاضل محدود زیر برای بازه‌ی بین گره‌های i و $i+1$ استفاده شده است:

$$f = \frac{1}{2} \theta (f_{i+1}^{n+1} + f_i^{n+1}) + \frac{1}{2} (1-\theta) (f_{i+1}^n + f_i^n) \quad (3)$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{\theta (f_{i+1}^{n+1} - f_i^{n+1})}{\Delta x} + \frac{(1-\theta) (f_{i+1}^n - f_i^n)}{\Delta x} \quad (4)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{(f_i^{n+1} + f_{i+1}^{n+1}) - (f_i^n + f_{i+1}^n)}{2\Delta t} \quad (5)$$

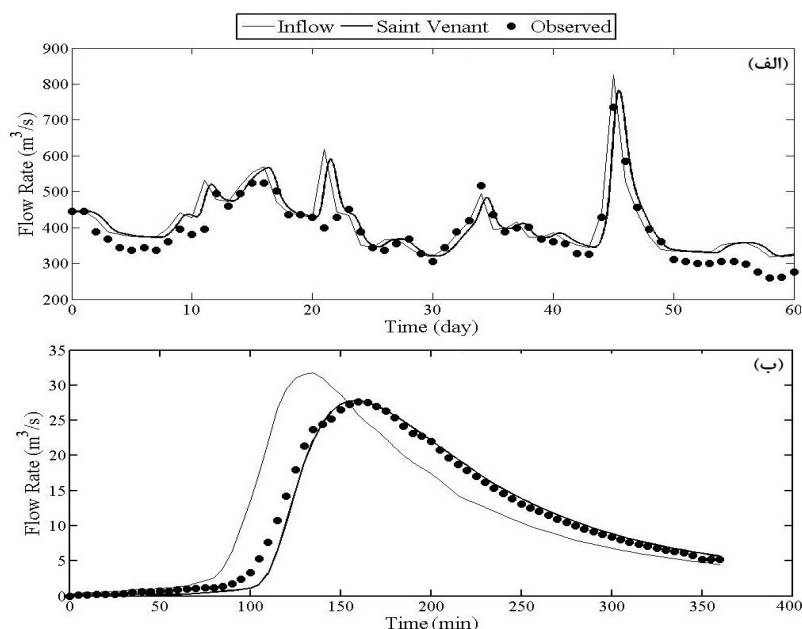
که در آن: Δx گام مکانی، Δt گام زمانی، i و n به ترتیب اندیس‌های مکانی و زمانی، θ پارامتر وزنی و f بیان‌کننده پارامتر مجهول در مشتقات جزئی هستند. این روش برای θ بین ۰/۵ تا ۱ بدون شرط پایدار است. توضیحات کامل روند حل روش پریسمن در چاو و همکاران (۱۹۸۸) و همچنین آکان (۲۰۰۶) بیان شده است.

نتایج و بحث

در ابتدا برای مقایسه داده‌های میدانی و نتایج مدل‌سازی از داده‌های سیلاب‌های رودخانه‌های کارون و سرباز استفاده شده است (شکل ۱). رودخانه‌های کارون و سرباز به ترتیب دارای طول ۶۰/۵ و ۲/۵ کیلومتر، ضریب زبری ۰/۰۲۵ و ۰/۰۳۵، شیب کف ۰/۰۰۱۱ و ۰/۰۰۱۲ و متوسط عرض ۲۷۶/۵ و ۱۰ متر می‌باشند. به‌عنوان شرط آغازین جریان به‌صورت نرمال در نظر گرفته شده است. همچنین برای شرط مرزی بالادست از هیدروگراف دبی در این محل و برای شرط مرزی پایین‌دست از منحنی دبی اشل استفاده شده است (براتی، ۱۳۸۹). با توجه به هیدروگراف سیلاب رودخانه کارون مشاهده می‌شود که روش پریسمن مقادیر دبی اوج و زمان تا اوج سیلاب چندپیکه را به‌خوبی پیش‌بینی کرده است. همچنین برای رودخانه سرباز دبی اوج خروجی

شده‌اند. به‌طورکلی با توجه به این دو سری داده می‌توان گفت مدل روندیابی هیدروگراف‌های تک و چند پیکه را به نحو شایسته‌ای شبیه‌سازی کرده است.

محاسباتی و مشاهداتی به‌ترتیب ۲۷/۸ و ۲۷/۶ متر مکعب بر ثانیه، زمان رخ دادن دبی اوج محاسباتی مشابه مقدار مشاهداتی و خطای محاسبه حجم ۱/۵ درصد برآورد



شکل ۱- هیدروگراف‌های ورودی، خروجی محاسباتی و مشاهداتی برای سیلاب‌های الف) رودخانه کارون و ب) رودخانه سرباز

دینامیکی به‌ازای این مجموعه پارامترها اجرا شده است (جدول ۱). مقادیر پایه شامل مشخصات محتمل‌تر برای بازه مورد مطالعه است که در آن مقطع به شکل ذوزنقه‌ای با شیب جانبی ۱:۱ در نظر گرفته شده است. مقادیر حد بالا و پایین شامل محدوده عدم اطمینان پارامترها است. از معادله ۶ به‌عنوان نمایه حساسیت استفاده شده است (فتوحی و حسینی، ۱۳۸۶).

$$S(\%) = \left[\frac{\left(\frac{O_2 - O_1}{O_{ave}} \right)}{\left(\frac{I_2 - I_1}{I_{ave}} \right)} \right] \times 100 \quad (6)$$

در این معادله S نمایه حساسیت (درصد)، I_1 و I_2 به‌ترتیب کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقدار پارامتر ورودی، I_{ave} متوسط این دو مقدار، O_1 و O_2 مقادیر خروجی متناظر با I_1 و I_2 و O_{ave} متوسط دو مقدار خروجی هستند.

مقادیر نمایه حساسیت در جدول ۲ خلاصه شده‌اند. به‌عنوان نمونه تأثیر تغییرات طول، زبری، شیب و پارامتر وزنی بر روی هیدروگراف خروجی در شکل ۲ ارائه شده است. تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد که تغییر در طول بازه و پارامتر

در ادامه حساسیت پارامترها بر بازه‌ای از رودخانه فریزی تحلیل شده است. به‌همین منظور آمار دبی حداکثر لحظه‌ای ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری این رودخانه برای مدت ۳۵ سال جمع‌آوری شده، سپس با استفاده از آزمون نقطه عطف از تصادفی بودن داده‌ها و همچنین با کمک آزمون ران تست از همگن بودن آن‌ها اطمینان حاصل شده است (علیزاده، ۱۳۸۵). در مرحله بعد پس از برازش توزیع‌های مختلف در نهایت توزیع لوگ نرمال سه پارامتری با روش گشتاورهای وزن‌دار برای برآورد حداکثر دبی لحظه‌ای انتخاب شده است (اکبری و همکاران، ۱۳۸۷). سپس دبی با دوره بازگشت‌های ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله محاسبه و هیدروگراف سیل برای هر دبی اوج بعد از کسر دبی پایه از روش سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) به‌دست آمده است (علیزاده، ۱۳۸۵). برای انجام تحلیل حساسیت مقدار پایه پارامترها مشخص شده‌اند، بعد از آن پارامترها در یک محدوده مشخص بزرگ و کوچک شده و مدل روندیابی

تأثیر ناچیزی بر حجم سیلاب می‌گذارند. این موضوع نشان دهنده دقت مدل در ارضای رابطه پیوستگی است. لازم به ذکر است علامت نمایه حساسیت موجود در جدول ۲ نشان‌دهنده چگونگی تغییرات پارامتر خروجی با تغییر پارامتر ورودی است، به‌عنوان نمونه با افزایش شیب کف دبی اوج خروجی افزایش می‌یابد در صورتی که با افزایش زبری این معیار کاهش می‌یابد.

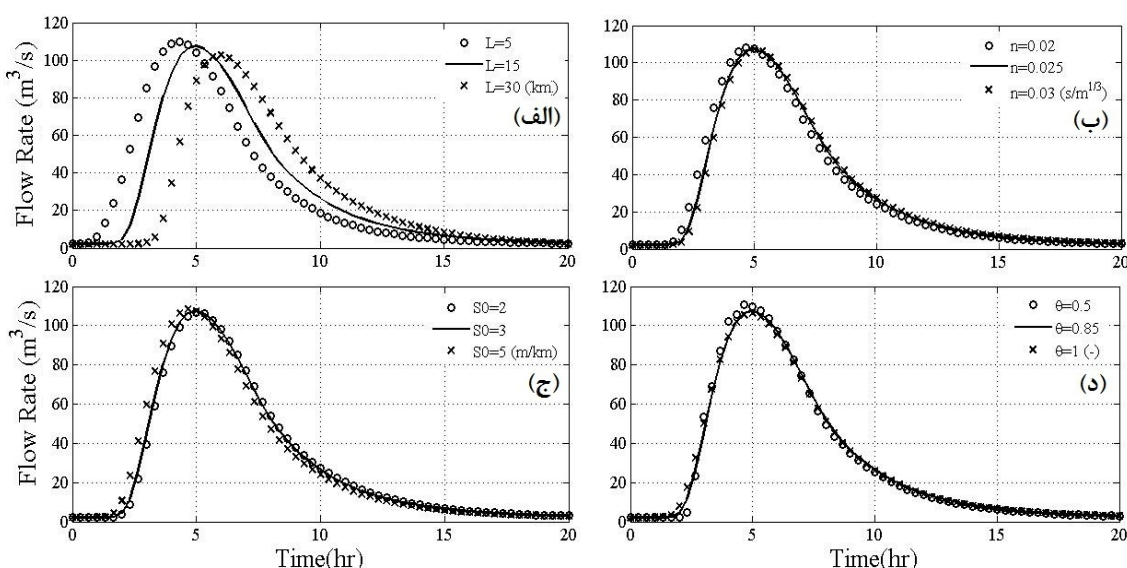
وزنی بر روی زمان تا اوج، تغییر در عرض متوسط و شیب جانبی بر روی عمق متناسب با دبی اوج، تغییر در شیب کف و زبری بر روی سرعت متناسب با دبی اوج، تغییر در دبی اوج ورودی بر روی حداکثر دبی خروجی و تغییر در دبی پایه بر روی حجم سیلاب، بیشترین تأثیر را دارند. همچنین با توجه به نمایه‌های حساسیت برای حجم سیلاب می‌توان گفت تغییر در پارامترهای ورودی به جز دبی اوج و دبی پایه

جدول ۱- مقادیر پایه، حد بالا و حد پایین پارامترها برای بررسی حساسیت مدل

پارامتر	طول	زبری	شیب کف	شیب جانبی	عرض کف	پارامتر وزنی	دبی اوج	دبی پایه
حد پایین	۵	۰/۰۲۰	۰/۰۰۲	۰:۰	۵	۰/۵۰	۱۰ ساله	۰/۹۰
مقدار پایه	۱۵	۰/۰۲۵	۰/۰۰۳	۱:۱	۱۰	۰/۸۵	۱۰۰ ساله	۲/۱۴
حد بالا	۳۰	۰/۰۳۰	۰/۰۰۵	۱:۳	۱۵	۱/۰۰	۱۰۰۰ ساله	۵/۰۰

جدول ۲- مقادیر نمایه حساسیت بر حسب درصد

پارامتر	طول بازه	عرض متوسط	شیب کف	شیب جانبی	زبری بستر	پارامتر وزنی	دبی ورودی	دبی پایه
حجم	-۰/۱۴	-۰/۱۶	۰/۱۵	-۰/۰۳	-۲/۳۰	-۰/۰۳	۹۵/۱۴	۹/۲۸
دبی حداکثر	-۴/۵۷	۰/۱۲	۱/۶۳	-۰/۱۳	-۲/۳۰	-۶/۱۵	۱۰۰/۱۸	۲/۷۲
زمان تا اوج	۲۲/۶۰	۰/۰۰	-۸/۰۴	۰/۰۰	۱۷/۲۰	۱۰/۳۳	-۹/۳۱	۰/۰۰
عمق اوج	-۱/۸۹	-۵۴/۴۸	-۲۹/۷۶	-۱۷/۶۴	۵۷/۱۳	-۳/۱۴	۶۰/۰۰	۱/۵۸
سرعت اوج	-۱/۰۲	-۱۲/۷۰	۳۷/۲۸	-۷/۷۱	-۷/۸۱	-۲/۳۴	۳۲/۰۰	۰/۸۲
متوسط قدر مطلق نمایه حساسیت	۶/۰۴	۱۳/۴۹	۱۵/۳۷	۵/۱۰	۲۹/۹۵	۴/۴۰	۵۹/۳۳	۲/۸۸



شکل ۲- اثرات تغییر (الف) طول بازه، (ب) ضریب زبری، (ج) شیب کف و (د) پارامتر وزنی بر روی هیدروگراف خروجی

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر با استفاده از یک روش تفاضل محدود ضمنی معادلات سنت‌ونانت برای روندیابی سیل مدل شده‌اند. اطمینان از صحت و دقت مدل تهیه شده با استفاده از سیلاب‌های تک و چند پیکه رودخانه‌های سرباز و کارون حاصل شده است. بنابراین مدل در مقایسه نسبی میزان اهمیت و تحلیل حساسیت پارامترهای مؤثر بر روندیابی سیل در بازه‌ای از رودخانه فریزی به‌عنوان یک مطالعه موردی به‌کار گرفته شده است. اهمیت این تحقیق در توجه به پارامترهای با نمایه حساسیت بیشتر در فرآیند واسنجی پارامترهای مدل است. مقایسه نتایج حاصل شده با نتایج رودخانه‌های مناطق خشک (رودخانه‌های فصلی) نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن تلفات انتقال تأثیر پارامترهای طول بازه، هدایت هیدولیکی و دبی اوج ورودی است (فتوحی و حسینی، ۱۳۸۶) در صورتی که در پژوهش حاضر که برای رودخانه‌های دائمی انجام شده است، با توجه به مقادیر متوسط قدر مطلق نمایه حساسیت (جدول ۲) اثرات پارامترهای دبی اوج ورودی و ضریب زبری قابل توجه‌تر است.

منابع

۱- اکبری غ. فیروزی ب. و براتی ر. ۱۳۸۷. مقایسه نتایج محاسبات دوره بازگشت حداکثر دبی سیل در رودخانه فریزی با استفاده از روابط دستی و نرم‌افزار

- SMADA. اولین کنفرانس سراسری مدیریت جامع بهره‌برداری آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
- ۲- براتی ر. ۱۳۸۹. بررسی روش‌های روندیابی سیل در آبراهه‌های طبیعی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد عمران-مهندسی آب، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- ۳- علیزاده ا. ۱۳۸۶. اصول هیدرولوژی کاربردی (چاپ بیست و سوم). فصل ۱۸: آزمون و بازسازی داده‌ها. دانشگاه امام رضا (ع). مشهد.
- ۴- فتوحی م. و حسینی م. ۱۳۸۶. تحلیل حساسیت پارامترهای روندیابی سیلاب و تلفات انتقال در رودخانه‌های مناطق خشک. مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۱(۱): ۲۳-۱۲.
- 5- Akan A.O. 2006. Open Channel Hydraulics. Chapter 8: Introduction to Unsteady Open-Channel Flow. Elsevier. 364p.
- 6- Amein M. and Fang C. S. 1970. Implicit Flood Routing in Natural Channels. Jour. Hyd. Div. Amer. Soc. of Civ. Engrs 96(2): 2481-2500.
- 7- Chow V.T. Maidment D.R. and Mays L.W. 1988. Applied Hydrology. Chapter 10: Dynamic Wave Routing. McGraw-Hill. 572p.
- 8- Cunge J. Holly F. M. and Verwey A. 1980. Practical Aspects of Computational River Hydraulics. Pitman. London.
- 9- Liggett J. A. and Cunge J. A. 1975. Numerical Methods of Solution of Unsteady Flow Equations. Water Resources Publications. Fort Collins.

