

مقاله کوتاه

مدل‌سازی هیدرودینامیکی پدیده شکست سد در پیچان‌رودها (مطالعه موردی؛ سد و رودخانه زاینده‌رود)

آناهیتا جوزدانی و عبدالرضا کبیری سامانی*
دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

(دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱/۲۲ - دریافت نسخه نهایی: ۱۳۹۰/۷/۲۷)

چکیده -

واژگان کلیدی :

Hydrodynamic Modeling of Dam Break in Meandering Rivers (Case Study: Zayande-Rood Dam and River)

A. Jouzdani and A.R. Kabiri-Samani

Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology

Abstract: *There are different numerical investigations performed on hydrodynamic behavior of dam break flood in straight canals based on 1-D modeling. But, little has been done based on two dimensional analyses. Hence, this study used the two dimensional SVE equations to study flood behavior in meandering rivers with consecutive bends. Also, to investigate the dam*

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: akabiri@cc.iut.ac.ir

break phenomena in meandering rivers under real conditions, the Zayande-Rood dam and river data were used as the case study. Results showed that the bends and their consecution have significant effects on decreasing the maximum flood discharge and also cause a considerable time delay in flood movement toward the downstream.

Keywords: Dam break; Hydrodynamic modeling, Meandering river, Zayande-Rood river.

۱- مقدمه

شکست سدها به رهاسازی حجم زیادی از آب و جاری شدن آن به سمت پایین دست سد می‌انجامد و اغلب تلفات مالی و جانی فراوانی به همراه دارد. تاریخ نشان می‌دهد که از هر یک هزار سد ساخته شده، در حدود ده عدد فرو ریخته است. لزوم بررسی پدیده شکست سد با توجه به آثار مخرب ناشی از شکست سدها و خسارات مالی و تلفات جانی که این حادثه عظیم در پی دارد، به خوبی مشخص می‌شود. با توجه به حجم عظیم آب رها شده در اثر شکسته شدن سد و زیر آب رفتن بخش گسترده‌ای از اراضی موجود در مسیر رودخانه، تعیین حریم و بستر رودخانه‌ها با در نظر گرفتن احتمال شکست سد از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. جریان رها شده به سمت پایین دست در اثر شکست سد از نوع جریان ناداتمی است. در لحظات اولیه پس از شکست سد، انحنای خطوط جریان بسیار زیاد بوده، توزیع فشار از شکل هیدرواستاتیکی خارج شده و مؤلفه قائم شتاب به وضوح دیده می‌شود. بیش از یک قرن است که دانشمندان مطالعه پدیده شکست سد را با جدیت دنبال می‌کنند. مطالعات اولیه در سال ۱۸۹۲ توسط ریتر در این زمینه انجام گرفت. وی با صرف نظر کردن از اثر اصطکاک جداره، معادلات سنت-وانانت را با استفاده از روش مشخصه‌ها در یک کانال مستطیلی افقی بسط داد. درسلا (۱۹۵۲) ضمن وارد کردن اثر اصطکاک جداره‌ها در مدل موفق شد دو معادله هم‌بسته برای محاسبه پروفیل سطح آب پس از شکست و سرعت موج پیشرونده ناشی از شکست سد ارائه کند. بلوس و همکارانش (۱۹۹۲) برای بررسی پدیده شکست سد، کانال مستطیلی با دیواره‌های شیشه‌ای و کف فولادی با عرض متغیر را مورد استفاده قرار دادند. این تغییر عرض با همگرایی دیواره‌ها و واگرایی مجدد تا رسیدن به

عرض ثابت کانال شکل می‌گرفت. چگینی و همکارانش (۱۹۹۸) ضمن انجام آزمایشاتی به بررسی شکل و عمق جت قارچی شکل ایجاد شده پس از شکست سد و اثر عمق آب‌پایاب بر این جت پرداختند که حاصل تحقیقات آنها به خوبی با نتایج معادلات استوکر هم‌خوانی داشت. کلیموویچ و پروکوف (۲۰۰۱) با استفاده از شکل یک‌بعدی معادلات سنت-وانانت اثر تغییر شکل و فرسایش خاک‌ریزهای منطقه سیل‌گیر را مورد بررسی قرار دادند. کوئسیدو و همکاران (۲۰۰۴) هر یک از معادلات آب کم‌عمق (SW) و ناویر-استوکس (NS) را با استفاده از روش اجزای محدود بسط دادند. اگرچه مطالعات عددی و آزمایشگاهی زیادی در ارتباط با پدیده شکست سد در کانالهای مستقیم صورت گرفته است، اما به دلیل هزینه‌بر بودن، زمان‌بر بودن محاسبات و دو بعدی بودن جریان، پدیده شکست سد در رودخانه‌ها و کانالهای دارای خم به خصوص در شرایطی که خمهای متوالی وجود داشته باشد و یا به اصطلاح رودخانه مئاندره باشد، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. پیچان‌رود یا رودخانه مئاندره عموماً به رودخانه‌ای اطلاق می‌شود که در مسیر خود پیچ و خمهای متعددی داشته و با تشکیل یک پروفیل طولی سینوسی به مسیر خود شکل دهد. جریان آب هنگام عبور از خمهای رودخانه رفتاری متفاوت با عبور از مسیرهای مستقیم از خود نشان می‌دهد. در محل خم، یکنواختی در حرکت سیلاب کاملاً از بین می‌رود و به علت شتاب لایه‌های فوقانی جریان، سیلاب با شتاب زیاد به سمت ساحل بیرونی حرکت می‌کند و در صورت سست بودن مصالح فرسایش شدیدی در ساحل بیرونی ایجاد می‌کند. نتیجه این امر تفاوت مقطع رودخانه در بخشهای مستقیم و در پیچ و خمهاست. بل و همکارانش (۱۹۹۲) طی تحقیقاتی به بررسی رفتار موج در محل خم 90° پرداختند. مطابق با دستاوردهای

۲- مدل سازی عددی پدیده شکست سد

به منظور شبیه سازی پدیده شکست سد، دنبال کردن موج حاصل از شکست و بررسی نحوه گسترش موج از نرم افزار مایک فلور استفاده شده است. نرم افزار مورد بحث با حل عددی معادلات سنت-ونانت در قالب معادلات یک و دو بعدی قادر به تحلیل جریانها و سیلابها در کانالها، رودخانه ها و مسیرهای سیل گیر است. معادلات یک بعدی سنت-ونانت برای مدل سازی پدیده مورد بحث عبارت اند از:

$$(1) \quad \text{معادله پیوستگی} \quad \frac{\partial Q}{\partial x} + B \frac{\partial h}{\partial t} = q$$

$$(2) \quad \text{معادله حرکت} \quad \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

در این معادلات $Q, B, h, q, A, g, C, R, x$ و t به ترتیب عبارت اند از دبی (m^3/s)، عرض مقطع جریان (m)، تراز آب (m)، نرخ تغییر دبی در راستای x ($m^3/s/m$)، مساحت جریان (m^2)، شتاب ثقل (m/s^2)، ضریب شزی (بدون بعد)، شعاع هیدرولیکی (m)، راستای طولی (m) و زمان (s) هستند. معادلات یک بعدی به روش تفاضل محدود ضمنی و با استفاده از الگوریتم شش نقطه ای ابوت و آیتسکو (۱۹۶۷) حل می شوند. این معادلات در شکل دو بعدی به سه معادله به شرح زیر بسط داده می شوند:

$$(3) \quad \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = \frac{\partial d}{\partial x}$$

$$(4) \quad \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega_q - fVV_x + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} (p_a) = 0$$

$$(5) \quad \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{qq^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \xi}{\partial y} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[\frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{yx}) \right] - \Omega_p - fVV_y + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} (p_a) = 0$$

ایشان، موج در مجاورت دیواره خارجی خم نسبت به دیواره داخلی، با سرعت بیشتری پیشروی می کند. این مسئله بر لزوم کاربرد مدل دو بعدی در محل خم تأکید می کند. فرازانو و زچ (۲۰۰۲) با استفاده از روش حجم محدود، موفق به ارائه مدلی مرکب از رویکردهای یک بعدی و دو بعدی شدند. این مدل در پیش بینی دقیق عمق آب در محل خم و هم چنین زمان رسیدن موج به پایین دست نارسایی دارد. امروزه در بسیاری از نقاط دنیا نقشه های پخش و گسترش سیلاب ناشی از شکست سد برای سدهای موجود تهیه و مورد استفاده قرار می گیرد. از آن جمله می توان به طرح اتحادیه اروپا اشاره کرد که از سال ۲۰۰۱ به مدت سه سال در این قاره انجام شد. بر مبنای این طرح آثار و تبعات وقوع سیلابهای بسیار بزرگ و مسئله عدم قطعیت آن برای بسیاری از مناطق با روشهای مختلف از جمله مدل سازیهای آزمایشگاهی و عددی پدیده شکست سد مورد بررسی قرار گرفت. موریس و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثر نوع مصالح به کار رفته در بدنه سدهای خاکی و خواص این مصالح از جمله چسبندگی خاک بر نحوه شکست و گسترش دامنه آن در سدهای خاکریز پرداختند و با طرح یک سلسله آزمایشات بر لزوم شناسایی خاک پیش از احداث سد تأکید کرده اند. آلکرادو و مولت (۲۰۱۰) به مدل سازی شکست سد توس در اسپانیا پرداختند. این سد در سال ۱۹۹۹ در طی یک بارندگی شدید تخریب شد و خسارات جانی و مالی فراوانی در مناطق پایین دست برجا گذاشت.

در این تحقیق پدیده شکست سد در رودخانه های پر پیچ و خم با حل معادلات یک و دو بعدی سنت وونانت مورد بررسی قرار می گیرد و نحوه حرکت و گسترش سیلاب در خمهای متوالی مدل سازی شده و تبعات این پدیده تحلیل می شود. مطالعه به صورت موردی بر روی رودخانه زاینده رود انجام می شود و با مدل سازی این پدیده در محیط نرم افزار مایک فلور^۱ دامنه و نحوه تغییرات آثار هیدرودینامیکی گسترش سیلاب ناشی از شکست این سد مورد بررسی قرار می گیرد.

جدول ۱- مقایسه داده‌های دبی- اشل ایستگاههای آب‌سنجی با نتایج مدل عددی

		دبی (m ³ /s)					
		۱۰۰	۸۰	۶۰	۴۰	۲۰	۰٫۰
ایستگاه سد تنظیمی	عمق ثبت شده در ایستگاه (m)	۱٫۳۷	۱٫۲۴	۱٫۰۹	۰٫۹۱	۰٫۶۶	۰٫۰
	نتایج مدل عددی (m)	۱٫۳۵	۱٫۲۲	۱٫۰۷	۰٫۸۷	۰٫۶۴	۰٫۰۰
ایستگاه پل زمانخان	عمق ثبت شده در ایستگاه (m)	۱٫۳۶	۱٫۱۵	۰٫۹۵	۰٫۷۰	۰٫۳۷	۰٫۰
	نتایج مدل عددی (m)	۱٫۳۲	۱٫۱۳	۰٫۹۴	۰٫۷۱	۰٫۴۰	۰٫۰

پارامترهای ظاهر شده در این معادله pa, f, t, V, X, d, q, p و Ω هستند که به ترتیب عبارت از دبی عبوری در واحد عرض در امتداد x و y ($m^3/s/m$)، تغییران عمق آب در زمان (m)، تراز سطح آب نسبت به سطح مبنا (m)، سرعت باد، تنشهای برشی، فاکتور اصطکاک وزش باد، فشار اتمسفر (Kg/m^2) و اثر کوریولیس‌اند. این معادلات در محیط دوبعدی با استفاده از روش تفاضل محدود ضمنی متناوب (ADI) تحلیل شده و نتایج آن ارائه می‌شود. نرم‌افزار مایک‌فلود ابزاری جهت وابسته کردن مدل‌های ساخته شده در هریک از محیط‌های یک‌بعدی و دوبعدی است. در این نرم‌افزار مایک‌فلود، شاخه اصلی رودخانه از محیط با استفاده از اتصال جانبی از طرفین به شبکه دشت سیلابی در مدل دوبعدی متصل می‌شود. محل اتصال به‌صورت سرریز لبه‌پهن در نظر گرفته می‌شود. اجزای اتصال معرف شرایط مرزی در مدل دوبعدی‌اند. به‌این ترتیب هنگامی که سیلاب در مدل یک‌بعدی از کناره‌های رودخانه بالاتر می‌رود این افزایش عمق به‌عنوان شرایط مرزی به مدل دوبعدی اعمال شده و جریان وارد سیلاب‌دشت می‌شود. در این حالت اجزای کناره به‌عنوان منبع عمل می‌کنند. با کاسته شدن عمق آب در کانال اصلی در هنگام فروکش سیلاب، جریان از سمت سیلاب‌دشت به رودخانه متمایل و در نهایت به کانال اصلی منتقل می‌شود.

۴- مدل‌سازی جریان ناشی از شکست سد در مسیرهای

دارای خم

به‌منظور بررسی اثر تغییرات شدید مسیر رودخانه در نحوه انتشار و حرکت سیلاب در مسیرهای پر پیچ و خم و مقایسه آن با نتایج مسیرهای مستقیم و بدون خم، کانالی با یک خم 180°

۳- بررسی صحت نتایج مدل عددی

برای بررسی صحت نتایج مدل، بخشی از اطلاعات رودخانه زاینده‌رود برای کالیبره کردن و صحت‌سنجی خروجی‌های مدل عددی مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات ایستگاههای

در مسیر و هم‌چنین کانالی با دو خم متوالی 18° در مسیر خود، مدل شده و تبعات این تغییرات ناگهانی در مسیر با رفتار سیلاب در کانال مستقیم مقایسه شد. مسیرهای مستقیم و غیر مستقیم، با طول تقریبی $2/5$ کیلومتر، با شعاع انحنای 254 متر و با مقطعی به شکل مربع با بعد 80 متر طراحی شده‌اند. کلیه اطلاعات مسیر در قالب مختصات رقومی نقاط کانال و محدوده اطراف آن، به مدل اعمال شدند. به منظور ایجاد مشابهت میان کانالهای ساخته شده در مدل عددی و واقعیت، زبری جداره کانالها در حدود $0/035$ و زبری دشت سیلابی در حدود $0/050$ در نظر گرفته شده است. در هر سه مدل کانال مستقیم، کانال با یک خم 18° و کانال با خمهای متوالی 18° در مسیر، مخزن ذخیره آب در بالادست کانالها و به حجم $25/6$ میلیون مترمکعب در نظر گرفته شده است. شکستگی سد در زمان پر بودن این مخزن، هنگامی که تراز آب در پشت دریچه‌ها به 80 متر می‌رسد، به وقوع می‌پیوندد.

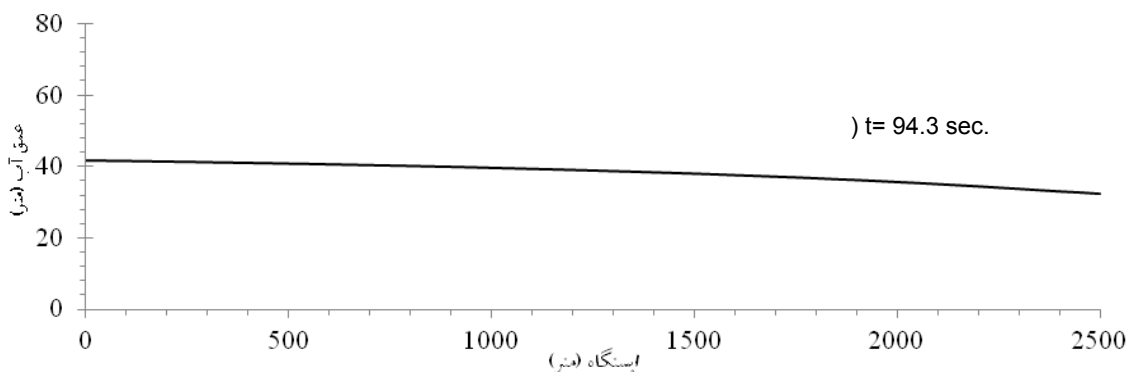
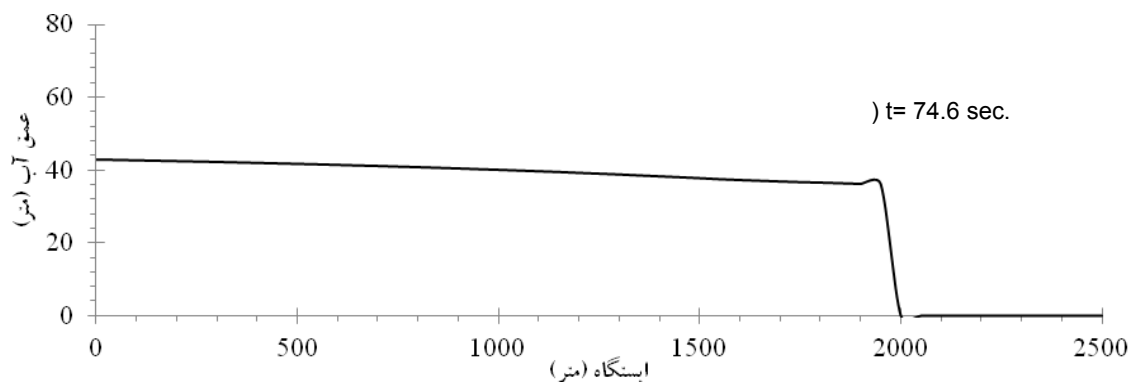
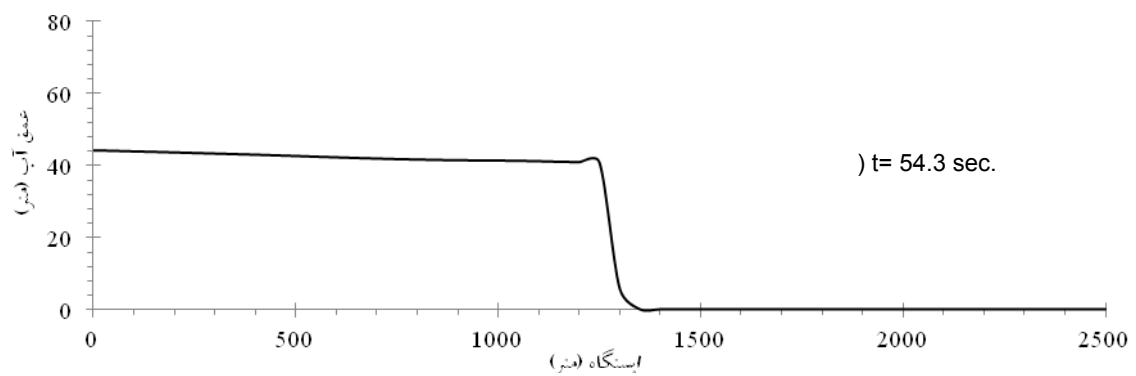
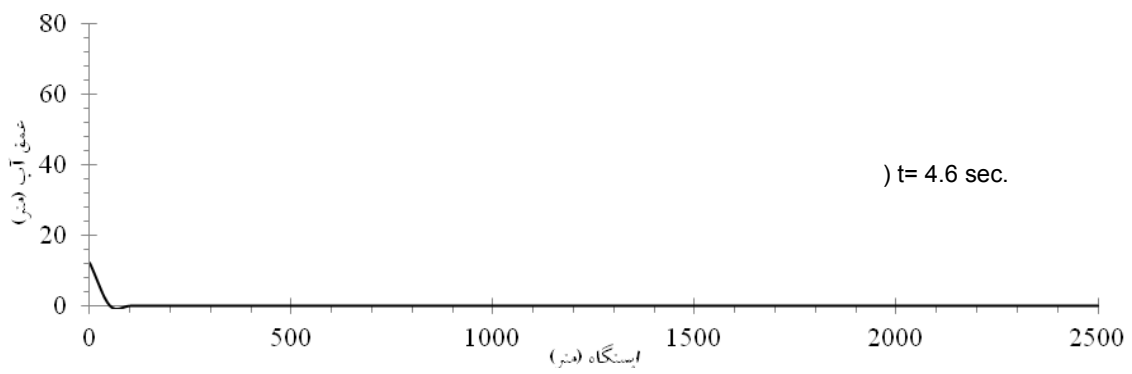
۵- نتایج شکست سد در مسیرهای دارای خم

وجود خم در مسیر کانال و در عین حال دخالت دادن اثر خم در محاسبات موج پیشرونده، در برآورد زمان حرکت سیلاب در مسیر تأثیر به‌سزایی دارد. این مسئله با حل معادلات حاکم بر جریان در دو بعد قابل بررسی است. به همین دلیل در بررسی پیشروی سیلاب در کانال مستقیم معادلات حاکم به صورت یک‌بعدی حل شده‌اند و مدل‌های مربوط به کانالهای غیر مستقیم به صورت دویبعدی تحلیل شده‌اند. در شکل‌های (۱-الف) تا (۱-د) پروفیل سطح آب ناشی از حرکت سیلاب در کانال مستقیم نشان داده شده است.

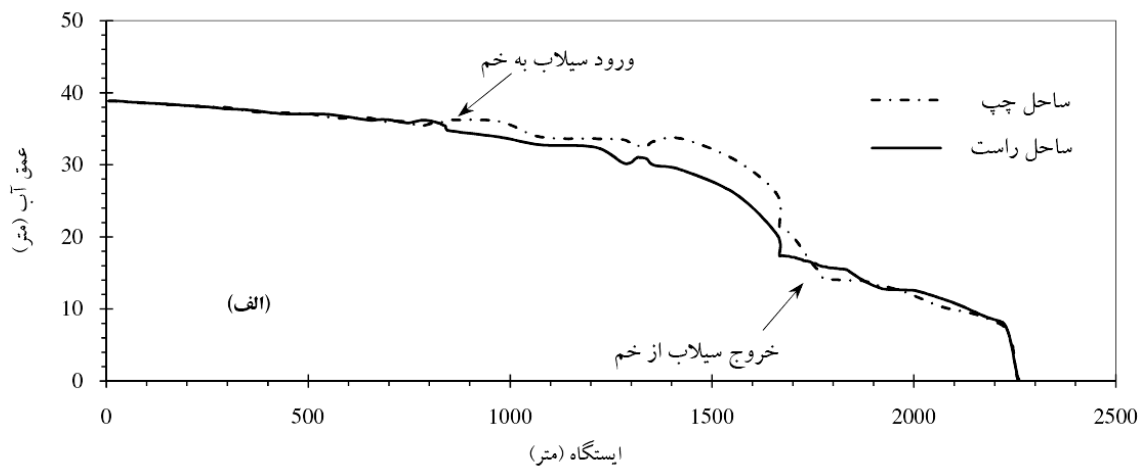
همان‌گونه که از نمودارهای شکل (۱) برداشت می‌شود سیلاب در طی زمانی حدود $94/3$ ثانیه مسافت 2500 متر در کانال مستقیم را طی می‌کند. با توجه به نحوه حرکت سیلاب در کانال با یک خم 18° ، سیلاب در طی حدود 130 ثانیه مسیر 2500 متری کانالی که در مسیر خود یک خم 18° دارد را می‌پیماید. بنابراین در نظر گرفتن اثر تغییر مسیر جریان در روند

محاسبات و حل دویبعدی معادلات باعث می‌شود زمان رسیدن سیلاب به انتهای مسیر تأخیر داشته باشد. تحت این شرایط زمان پخش سیلاب نسبت به حل یک‌بعدی $37/8\%$ افزایش یافته است. اثر تغییر جهت‌های پی‌درپی با قرار دادن دو خم متوالی 18° در مسیر 2500 متری کانال مدل شده است. سیلاب ناشی از شکست سد پس از زمانی حدود 151 ثانیه مسیر 2500 متری کانال با دو خم متوالی در مسیر را طی می‌کند. در این مدل زمان پخش سیلاب نسبت به حل یک‌بعدی 6% افزایش داشته است. لذا در نظر گرفتن اثر خمها در مسیر جریان و حل دویبعدی معادلات، زمان گسترش سیلاب در کانال را بزرگتر از مدل‌های یک‌بعدی برآورد می‌کند. در عین حال توالی خمها، میزان تأخیر زمانی را افزایش می‌دهد. در کل خمها در مسیر کانال به‌عنوان یک عامل کند کننده حرکت سیلاب، در به تأخیر انداختن زمان رسیدن به انتهای مسیر نقش تعیین‌کننده‌ای بر عهده دارند و این مسئله‌ای است که در ساخت مدل‌های یک‌بعدی از نظر دور می‌ماند. در ادامه توانایی مدل‌های دویبعدی در بررسی تغییرات سطح آب در مقاطع مختلف مسیر در هنگام عبور از خمها بررسی می‌شود. مدل‌های عددی که پدیده شکست سد را به صورت یک‌بعدی مورد بررسی قرار می‌دهند، در کلیه مقاطع موجود در مسیر جریان سطح آب را کاملاً هموار محاسبه می‌کنند. این در حالی است که هنگام عبور از خمها، در اثر تغییر زاویه مقاطع نسبت به یکدیگر، در تراز سطح آب نوساناتی ایجاد می‌شود که آنرا از شکل یکنواخت خود در مقطع عرضی جریان خارج می‌کند. این پدیده در مدل‌های دویبعدی قابل رؤیت و بررسی است. ملاحظه می‌شود که قبل از اینکه جریان وارد خم شود سطح آب تقریباً هموار است، اما با ورود جریان به خم به تدریج تراز آب در ساحل سمت چپ (دیواره بیرونی خم) بالا تر از ساحل سمت راست (دیواره داخلی خم) قرار می‌گیرد، شکل (۲).

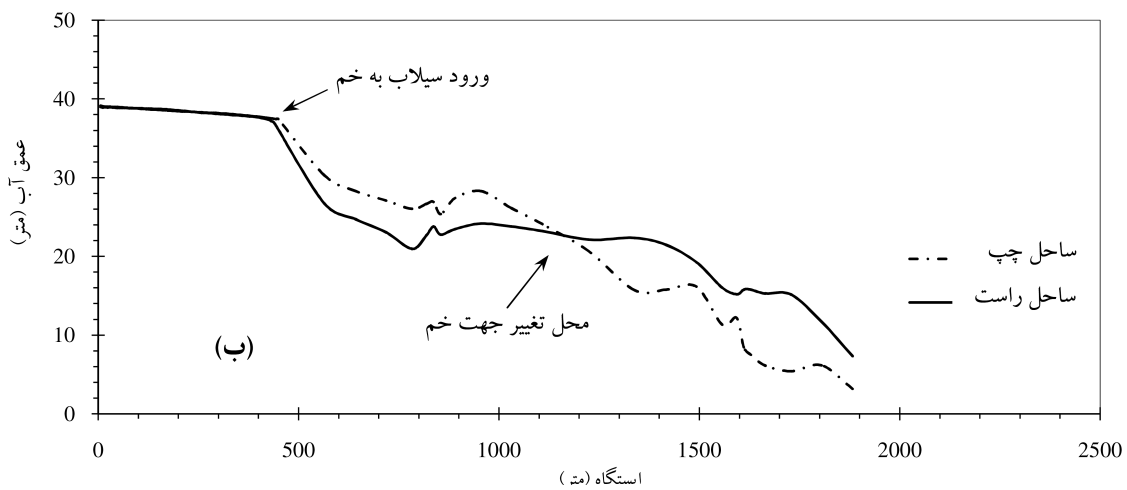
همان‌طور که مشاهده می‌شود با خروج سیلاب ناشی از شکست سد از خم کانال، تراز آب در ساحل سمت چپ (دیواره بیرونی خم) و ساحل سمت راست (دیواره داخلی خم)



شکل ۱- پیشروی سیلاب در کانال مستقیم



شکل ۲- تراز آب در سواحل چپ و راست کانال با یک خم، ۱۱۶ ثانیه پس از شکست

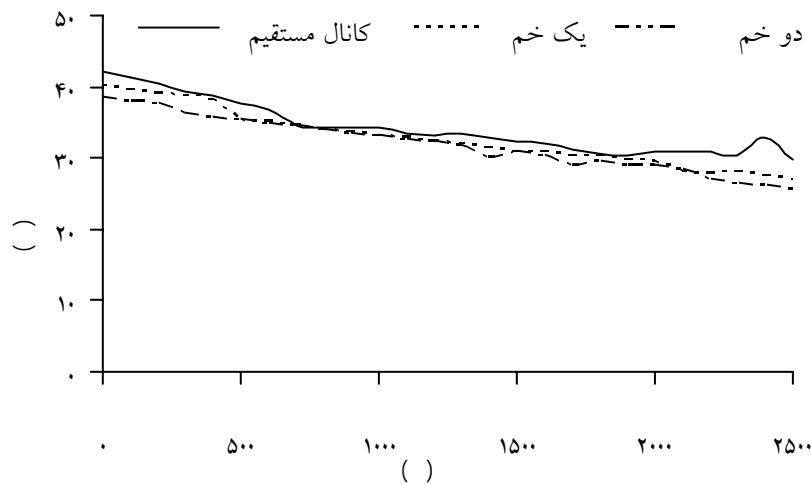


شکل ۳- تراز آب در سواحل چپ و راست کانال با دو خم، ۱۱۶ ثانیه پس از شکست

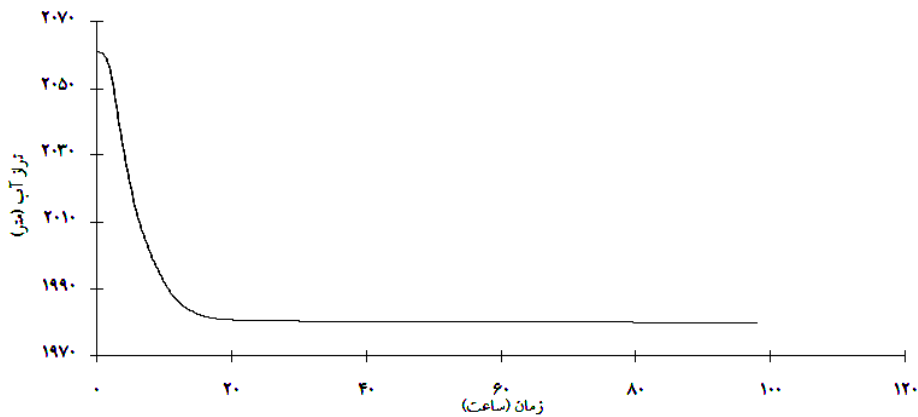
رودخانه دارد. به همین دلیل به نظر می‌رسد پهنای حریم رودخانه در ساحل بیرونی خمها باید بیشتر از پهنای آن در ساحل درونی خمها باشد. هم‌چنین این مسئله باید در ساخت تأسیسات و کارخانه‌هایی که برای راه‌اندازی و تولید به آب احتیاج دارند و در حواشی رودخانه‌ها احداث می‌شوند، مد نظر قرار گیرد. حل دوبعدی معادلات علاوه بر نحوه گسترش و زمان حرکت سیلاب در مسیر، بر تراز بیشینه آب در مقاطع مختلف مسیر تأثیر می‌گذارد. تراز بیشینه آب در مدل یک‌بعدی کانال مستقیم و مدل‌های دوبعدی کانال‌های با یک‌خم و دو خم متوالی در مسیر در شکل (۴) ارائه شده‌است. با دقت در نمودار ارائه شده در شکل (۵) مشخص می‌شود که مدل یک‌بعدی

تقریباً برهم منطبق می‌شوند. تغییرات سطح آب در سواحل سمت چپ و راست کانال با خمهای متوالی 180° با شدت بیشتری قابل ملاحظه است. مقایسه تراز آب در سواحل سمت چپ و راست کانال حدود ۱۱۶ ثانیه پس از آغاز شکست در شکل (۳) صورت گرفته است.

ساحل سمت چپ در اولین خم دیواره بیرونی و در دومین خم دیواره داخلی را تشکیل می‌دهد. به همین علت است که تراز سطح آب در این ساحل در اولین خم بالاتر از تراز آب در ساحل سمت راست است و در خم بعدی پایینتر از تراز آب در ساحل سمت راست قرار می‌گیرد. لذا وجود خمها در مسیر جریان تأثیر به‌سزایی در نحوه پخش سیلاب در سواحل



شکل ۴- مقایسه تراز پیشینه آب در کانالهای دو خم



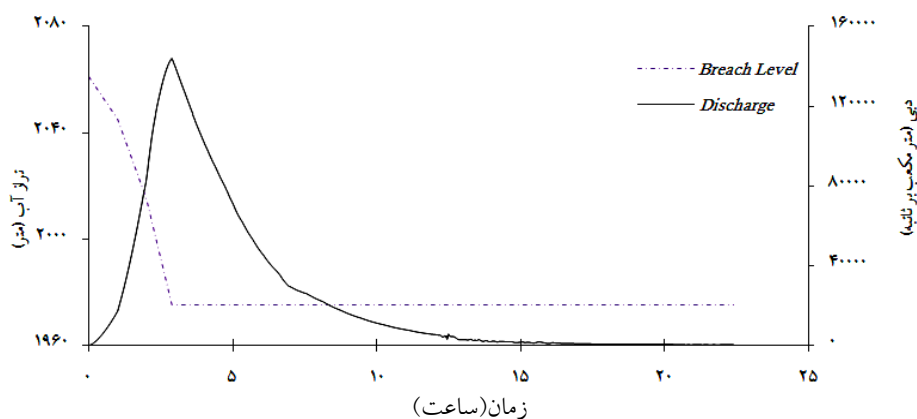
شکل ۵- تغییرات سطح آب در مخزن سد زاینده‌رود در طی زمان مدل‌سازی

از آغاز ورود سیلاب به مخزن آغاز شده و فرض می‌شود که در طی زمانی حدود سه ساعت به شکل نهایی خود می‌رسد. انتخاب زمان سه ساعت برای آغاز و تکمیل شکست با توجه به بتنی بودن سازه و مد نظر قرار دادن شکست ناگهانی این دست از سدها صورت پذیرفته است. لازم به یادآوری است که شکست از تراز ۲۰۶۱ متر آغاز می‌شود. پهنای کف مقطع ۲۰۰ متر است و مقطع شکست تا تراز ۱۹۷۵ متر گسترش می‌یابد. تحت این شرایط مخزن سد پس از ۱۶۵ ساعت یعنی با گذشت حدود ۶ روز و ۲۱ ساعت از آغاز زمان شکست، به‌طور کامل تخلیه می‌شود، البته بخش عمده‌ای از حجم آب مخزن طی ۸ ساعت اولیه پس از شکست از مخزن خارج می‌شود. نحوه تغییرات سطح آب در مخزن سد از آغاز ورود سیلاب

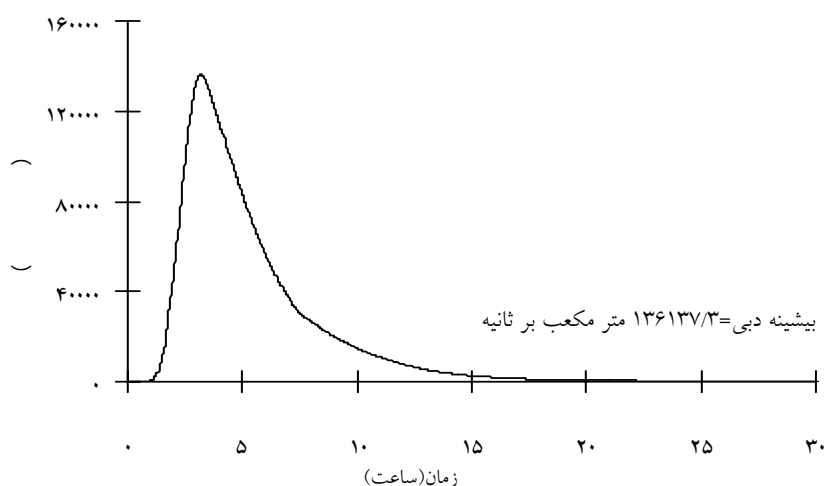
کانال مستقیم تراز پیشینه سطح آب را از مدل‌های دوبعدی بیشتر برآورد می‌کند. در عین حال توالی خمها در مدل دوبعدی، بر تراز پیشینه آب تأثیر می‌گذارد و همان‌طور که مشاهده می‌شود تراز پیشینه آب با عبور از خمهای متوالی نسبت به مسیر با یک خم کاهش می‌یابد.

۶- بررسی آثار هیدرودینامیکی شکست سد زاینده‌رود بر نواحی پایین دست

در ارتباط با سد زاینده‌رود سیلاب صدساله در طی زمانی حدود ۲۴۱ ساعت وارد مخزن سد می‌شود. این هیدروگراف پس از حدود ۴۸ ساعت به دبی پیشینه ۸۰۱ مترمکعب بر ثانیه می‌رسد. شکست سد پس از گذشت زمان تقریبی ۶۷/۵ ساعت



شکل ۶- تغییرات دبی عبوری در محل شکست سد زاینده رود طی زمان مدل سازی



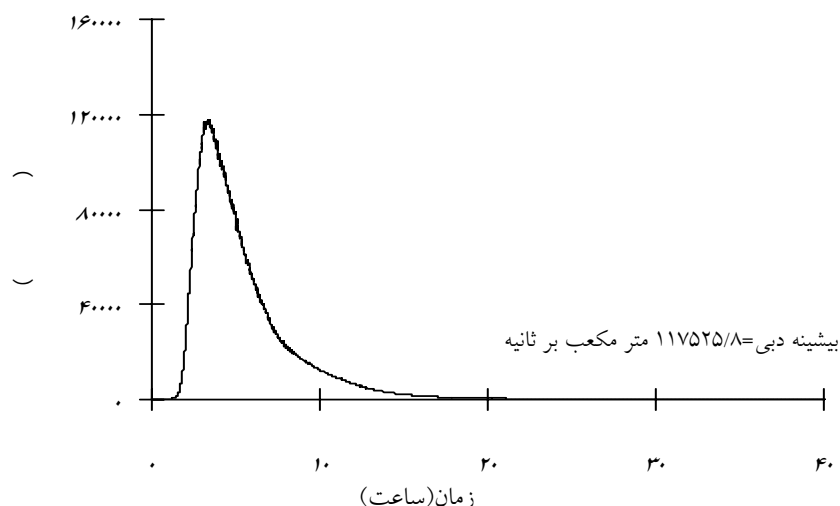
شکل ۷- هیدروگراف سیلاب در ایستگاه ۱۶+۲۵۰، محاسبه شده توسط مدل یک بعدی

چراکه در دره‌ها، پهنای مقطع عبور سیلاب نسبت به دشتهای کمتر است و این مسئله سبب می‌شود که عمق آب در دره‌ها نسبت به دشتهای افزایش یابد.

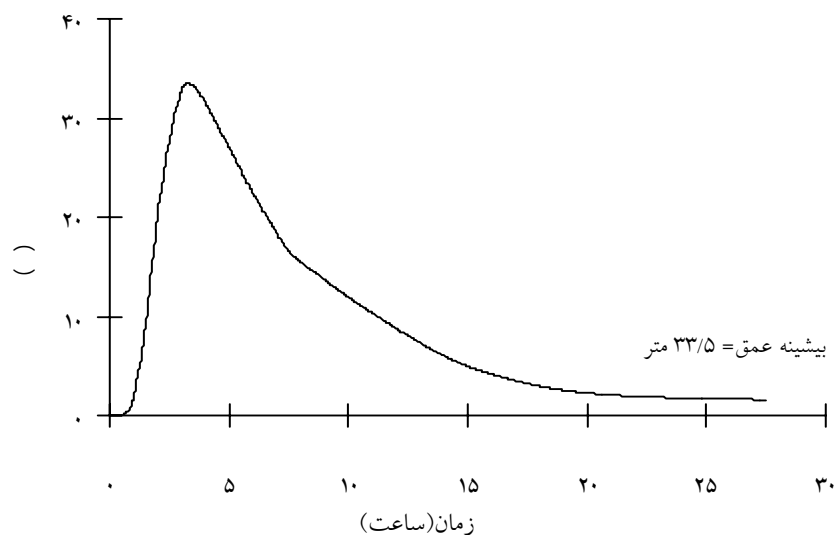
۷- مقایسه نتایج مدل‌های یک بعدی و دوبعدی

بهترین محل برای بررسی تفاوت نتایج مدل‌های یک بعدی و دو بعدی، انتهای مسیر مدل شده به صورت دو بعدی است. در این بخش هیدروگراف سیلاب عبوری از مقطع به فاصله ۱۶٫۲۵ کیلومتر از محل سد و نیز تغییرات سطح آب در مقطع به فاصله ۱۶٫۵ کیلومتر از محل سد در هر یک از مدل‌های یک بعدی و دوبعدی مقایسه می‌شود. در شکل (۷) هیدروگراف محاسبه شده توسط مدل یک بعدی و در شکل (۸) هیدروگراف محاسبه

صدها تا تکمیل شکست و تخلیه مخزن در شکل (۵) ارائه شده است. لازم به ذکر است که در کلیه شکلها مبدأ زمانی از آغاز شکست در دیواره سد است. نحوه تغییرات دبی سیلاب در عبور از محل شکست سد در شکل‌های (۶) ارائه شده است. برای درک بهتر وضعیت شکست، موقعیت تراز کف مقطع شکست^۲ نیز در این شکل ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که در فاصله ۲۵۰ متری محل سد بیشینه مقدار سیلاب $۱۴۲۴۸۴/۷۳$ متر مکعب در ثانیه است که این دبی بیشینه در فاصله ۱۰۵۲۵۰ متری محل سد به $۱۱۰۲۷۹/۱۱$ متر مکعب در ثانیه تقلیل می‌یابد. همچنین تغییرات عمق آب در مقاطع مختلف در مسیر جریان، روند کاهشی یکنواخت ندارد. این مسئله به خاطر وجود دره‌ها یا دشتهای در مسیر رودخانه است،



شکل ۸- هیدروگراف سیلاب در ایستگاه ۱۶+۲۵۰ محاسبه شده توسط مدل دوبعدی

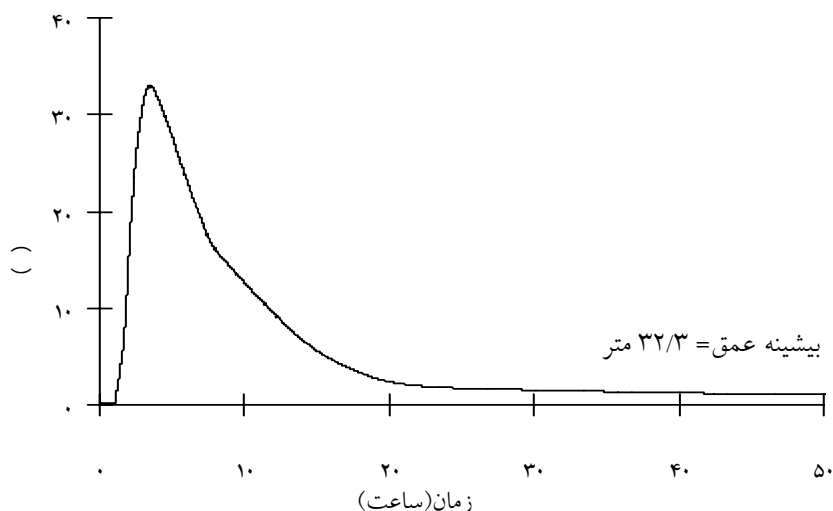


شکل ۹- نتایج مدل یکبعدی در ارتباط با نحوه تغییرات سطح آب در ایستگاه ۱۶+۵۰۰

سیلاب و هم‌چنین تأخیر در زمان وقوع آن می‌شود. در شکل‌های (۹) و (۱۰) نمودارهای تغییرات سطح آب در فاصله ۱۶٫۵ کیلومتری از محل سد ارائه شده است. شکل (۹) مربوط به نتایج مدل یکبعدی و شکل (۱۰) نتایج محاسبات دوبعدی را نشان می‌دهد.

مدل یکبعدی بیشینه سطح آب در ایستگاه ۱۶+۵۰۰ را ۳۳٫۴۹ متر برآورد می‌کند. در این مدل، زمان وقوع مقدار بیشینه ۲۰۲ دقیقه پس از آغاز شکست محاسبه شده است. در حالی که طبق پیش‌بینی مدل دوبعدی، عمق آب در این مقطع پس از ۲۲۲

شده توسط مدل دوبعدی دیده می‌شود. در هیدروگراف خروجی مدل یکبعدی، دبی بیشینه ۱۳۶۱۳۷٫۱ مترمکعب در ثانیه ۱۸۴ دقیقه پس از آغاز شکست به‌وقوع می‌پیوندد. این در حالی است که مدل دوبعدی، دبی بیشینه عبوری از این مقطع را ۱۱۷۵۲۸٫۷ مترمکعب در ثانیه برآورد می‌کند. در این مدل دبی بیشینه ۱۹۴ دقیقه پس از آغاز شکست حادث شده است. با مقایسه نتایج مدل‌های یکبعدی و دوبعدی به‌وضوح دیده می‌شود که در نظر گرفتن اثر تغییر مسیر رودخانه در عبور از پیچ و خمها باعث کاهش دبی بیشینه



شکل ۱۰- نتایج مدل یک‌بعدی در ارتباط با نحوه تغییرات سطح آب در ایستگاه ۱۶+۵۰۰

مدل‌سازی دوبعدی پدیده مورد بحث پرداخته و اثر وجود خمها و تغییر مسیر جریان در نحوه پیشروی و پخش سیلاب را با استفاده از صورت دوبعدی معادلات و پیاده‌سازی روی مطالعه موردی، تحلیل کرده و نتایج آن‌را با حل یک‌بعدی در مسیرهای مستقیم مقایسه کرده است. بررسیها نشان داد که در نظرگرفتن اثر خمها در مسیر جریان و حل دوبعدی معادلات، زمان گسترش سیلاب در کانال را بزرگتر از مدل‌های یک‌بعدی برآورد می‌کند. این اختلاف زمان در طراحی سیستم‌های هشدار سیلاب و طرح‌های تخلیه اضطراری اماکن و تأسیسات در هنگام خطر، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. توالی خمها، میزان تأخیر زمانی را افزایش می‌دهد. خمها در مسیر کانال به‌عنوان یک عامل کندکننده حرکت سیلاب، در به تأخیر انداختن زمان رسیدن سیلاب به انتهای مسیر نقش تعیین‌کننده‌ای بر عهده دارند و این مسئله‌ای است که در ساخت مدل‌های یک‌بعدی از نظر دور می‌ماند. وجود خمها در مسیر جریان تأثیر به‌سزایی در نحوه پخش سیلاب در سواحل رودخانه دارد. مدل یک‌بعدی کانال مستقیم تراز بیشینه سطح آب را از مدل‌های دوبعدی بیشتر برآورد می‌کند. در عین حال توالی خمها نیز در مدل دوبعدی، بر تراز بیشینه آب تأثیر می‌گذارد. تراز بیشینه آب با عبور از خمهای متوالی نسبت به مسیر با یک خم کاهش می‌یابد.

دقیقه از آغاز شکست به مقدار بیشینه ۳۱/۴۵ متر می‌رسد. در این صورت زمان برآورد شده در مدل دوبعدی نسبت به مدل یک‌بعدی ۱۰٪ افزایش یافته است. به‌طور کلی در کلیه نقاط مسیر، مدل یک‌بعدی مقدار بیشینه دبی سیلاب را بزرگتر از مدل دوبعدی برآورد می‌کند. دبی بیشینه در هر یک از مقاطع در مدل یک‌بعدی نسبت به مدل دوبعدی، در فاصله زمانی کوتاهتری پس از شکست از مقطع مورد بحث عبور می‌کند. مدل دوبعدی در کل مسیر مدل شده بیشینه سطح آب در مقاطع مختلف مسیر در هنگام عبور سیلاب را کمتر از مدل یک‌بعدی برآورد می‌کند. دلیل این مسئله به در نظر گرفتن اثر ورود سیلاب عبوری به سیلاب‌دشتهای اطراف رودخانه بازمی‌گردد، چراکه زبری برآورد شده برای سیلاب‌دشتهای بزرگتر از زبری مسیر رودخانه است و این تغییر زبری در مسیر سیلاب باعث کندی حرکت شده و کاهش عمق آب در مقطع را در پی خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که اشاره شد مدل‌های دوبعدی تحلیل پدیده شکست سد به‌سبب هزینه بالای محاسباتی و هم‌چنین زمان‌بر بودن حل معادلات، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این مسئله سبب می‌شود تأثیرات وجود خمهای متوالی و تغییر در مسیر جریان در نتایج این مدل‌ها نادیده انگاشته شود. این تحقیق به

1. mikeflood

2. breach level

مراجع

1. Bell, S.W., Elliot, R.C., and Chaudhry, M.H., "Experimental Results of Two- Dimensional Dam- Break Flows," *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 30, No. 2, pp. 225-252, 1992.
2. Bellos, C.V., Soulis, J.V., and Sakkas, J.G., "Experimental Investigation of Two- Dimensional Dam- Braek Induced Flow," *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 40, No. 1, pp. 47-63, 1992.
3. Chegini, A., Stansby, P.K., and Barnes, T.C.D., "The Initial Stages of Dam-Break Flow," *Journal of Fluid Mechanics*, Vol. 370, pp. 203-220, 1998.
4. Dressler, R. F., "Hydraulic Resistance Effect upon the Dam-Break Functions," *Journal of Research National Bureau of Standards*, Vol. 49, No. 3, pp. 217-225, 1952.
5. Frazão, S.S., and Zech, Y., "Dam Break in Channels with 90° Bend," *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 128, No. 11, pp. 956-968, 2002.
6. Klimovich, V.I., and Prokof'ev, V.I., "Calculating Dam-Break Flood-Wave Parameters and Determining Flooding Area from an Accident at an Ash and Slag Dump," *Hydrotechnical Construction*, Vol 35, No. 1, pp. 23-30, 2001.
7. Quecedo, M., Pastor, M., Herreros, M.I., Fernández Merodo, J.A., and Zhang, Q., "Comparison of Two Mathematical Models for Solving the Dam Break Problem Using the FEM Method," *Journal of Computation Methods Applied Mechanic Engineering*, Vol. 194, pp. 3984-4005, 2005.
8. Ritter, A., "Die Fortpflanzung de Wasserwellen," *Zeitschrift Verein Deutscher Ingenieure*, Vol. 36, No. 33, pp. 947-954, 1982. (in German)
9. Morris, M. W., Hssan, M. A. A. M., and Vaskin, K. A., "Breach Formation: Field test and Laboratory Experiments," *Journal of Hydroulic research*, Vol. 45, pp. 9-17.
10. Alcrado, F., Mulet, J., "Description of the Tous Dam Break Case Study (Spain)," *Journal of Hydroulic Research*, Vol. 45, pp. 45-57.