

مدلسازی دو بعدی جریان اطراف سرریز های اضطراری دایک های کنترل سیلاب و روندیابی سیلاب خروجی از آن ها

مسیح ذوالقدر

دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

سید محمدرضا هاشمی

استادیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

سید محمد علی زمردیان

استادیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

mzomorod@shirazu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۳۰

تاریخ ارسال: ۸۹/۵/۳۰

چکیده

از آنجاکه انتشار سیلاب ناشی از شکست سرریز های اضطراری دایک ها عموماً به صورت دو بعدی صورت می پذیرد، استفاده از روش های عددی دو بعدی در اینگونه مطالعات اکیدا توصیه می گردد. با توجه به استقبال گسترده از مدل MIKE21 در ایران، این تحقیق، پژوهشی در مورد کاربرد MIKE21 در این زمینه است. در این پژوهش ابتدا مدل MIKE21 در شبیه سازی شکست سرریز های اضطراری با استفاده از داده های آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از تایید صحت نتایج مدل، اقدام به مطالعه موردی شده است. تطابق نسبی خوبی بین نتایج شبیه سازی در پیش بینی میدان سرعت در مقابل محل شکست و اطلاعات اندازه گیری شده مشاهده گردیده است. به عنوان مطالعه موردی، رودخانه حله در استان بوشهر در نظر گرفته شده است. برای بدست آوردن شرایط مرزی و اولیه، منطقه مورد مطالعه ابتدا بوسیله مدل یک بعدی HEC-RAS شبیه سازی گردید. پس از مقایسه نتایج مدل یک بعدی و دوبعدی، در پیش بینی تراز سطح آب، بدون در نظر گرفتن شکست سرریز های اضطراری، در سناریو های مختلف، شکست سرریز ها بررسی شده است. در اجرای مدل، مشکلات مربوط به انتشار جریان بر روی سطح خشک و تر و خشک شدن وجود دارد. هزینه محاسباتی مدل نیز در مقایسه با مدل یک بعدی بسیار بیشتر می باشد.

واژگان کلیدی: شکست دایک، سرریز های اضطراری، شبیه سازی دو بعدی، مدل Mike21، پهنه بندی سیلاب، بستر خشک، رودخانه حله

مقدمه

قسمتی از سازه های اصلی هستند که با تراز کمتر، تراکم کمتر و مواد فرسایش پذیر ساخته می شوند تا در صورت تجاوز تراز سطح آب، از حد معین شسته شده و از خرابی سازه اصلی جلوگیری نمایند (Jasen, 1998). طرح مطلوب سرریز های اضطراری مستلزم شناخت وضعیت و نحوه انتشار جریان پس از شکست آن ها می باشد، که در این مطالعه به

دایک ها سازه هایی هستند که عموماً در امتداد رودخانه و به منظور حفاظت اراضی مجاور، در برابر طغیان رودخانه احداث می گردند. شکست دایک ها یا سرریز های اضطراری آن ها همواره منجر به خسارات زیادی به نواحی مسکونی و اراضی اطراف رودخانه ها شده است. سرریز های اضطراری

احجام محدود دو بعدی، شبیه سازی کردند و برای صحت سنجی مدل عددی، داده های آزمایشگاهی حاصل از شکست دو بعدی سد، داده های برداشتی یک شکست سد واقعی و داده های یک مدل آزمایشگاهی ساخته شده از یک سد را، مورد استفاده قرار دادند. پس از آن بکارگیری شبکه های محاسباتی پویا- که در آن اندازه سلول های محاسباتی در نقاط حساس ریز تر است مورد توجه قرار گرفت. در این راستا، Liang و همکاران (۲۰۰۴)، شبیه سازی شکست سد و دایک بر روی یک شبکه محاسباتی پویا^۱ را مورد مطالعه قرار دادند. این محققان بوسیله روش احجام محدود شکست سد دایره ای^۲ و دو بعدی را شبیه سازی نمودند. همچنین اطلاعات آزمایشگاهی شکست دو بعدی سد در خم ۹۰ درجه و شکست دایکرا برای صحت سنجی مدل خود مورد استفاده قرار دادند. Harms و همکاران (۲۰۰۴)، یک روش عددی عناصر محدود دو بعدی برای شبیه سازی جریان حاصل از شکست دایک ارائه نمودند. آنها مدل عددی خود را با اطلاعات آزمایشگاهی صحت سنجی کرده و در نهایت اقدام یک مطالعه موردی در رودخانه Rhine نمودند. Kamrath و همکاران (۲۰۰۶)، میزان بده عبوری از درون یک دایک شکسته شده را مورد ارزیابی قرار دارند و روشی برای تخمین مناطق سیل زده معرفی کردند. شبیه سازی جریان حاصل از شکست دایک، بوسیله ترکیب چند مدل عددی، در یک مقیاس بزرگ توسط Vorogoshyn و همکاران (۲۰۰۶) انجام شد. هدف آنها از این مطالعه تهیه نقشه های پهنه بندی سیلاب بوده که به منظور آگاهی عمومی و تخمین خسارات وارده و برنامه ریزی های مدیریتی ضروری می باشد. در پژوهش مذکور، مطالعه موردی بر روی شکست دایک رودخانه Elbe در آلمان انجام گرفته است. Xin و همکاران (۲۰۰۷)، شش سناریوی مختلف شکست دایک را در رودخانه زرد^۳ واقع در کشور چین، با یک مدل عددی دو بعدی غیرماندگار شبیه سازی نموده و سیلاب حاصله از آن را روندیابی کردند.

به طور کلی از آنجا که معمولا در مورد شکست دایک اطلاعات میدانی وجود ندارد یا در صورت وجود، بسیار کیفی

این موضوع پرداخته شده است. سیلاب ناشی از شکست سرریزهای اضطراری دایک ها عموما به دلیل عدم وجود یک آبراهه معین برای هدایت جریان، به صورت دو بعدی انتشار می یابند. غالب مدل های هیدرولیکی موجود برای شبیه سازی جریان رودخانه HEC-RAS و MIKE11 یک بعدی بوده و قادر به شبیه سازی دقیق جریان ناشی از شکست دایک ها نمی باشند. در این مقاله مطالعه هیدرولیکی شکست سرریز های اضطراری دایک و روندیابی سیلاب خروجی بوسیله مدلو بعدی MIKE21 انجام پذیرفته است. لازم به ذکر است که طرح درست سرریز های اضطراری - که منظور جلوگیری از ویرانی سیستم دایک در نظر گرفته می شوند مستلزم شناخت وضعیت جریان پس از شکست آن ها و اثرات آن ها بر مناطق مجاور می باشد.

مطالعه دو بعدی انتشار سیلاب و شبیه سازی آب های کم عمق، به دهه های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی باز می گردد. اولین نسل این مدل ها بر پایه روش های عددی تفاضلات محدود و عناصر محدود و به عنوان وسیله ای برای پژوهش های علمی- و نه کاربرد های عملی- توسعه یافتند (Hosseini-pour 1983; Wardak 1976, Hosseini-pour 1984) and Amein 1984. با ظهور رایانه های با قدرت پردازش بالا در دهه ۱۹۹۰ و پس از آن، بسیاری از این مدل ها در غالب بسته های نرم افزاری تخصصی توسعه یافتند و به منظور بررسی مسائل دنیای واقعی توسط مهندسين هیدرولیک مورد استفاده قرار گرفتند (MIKE21, MIKEFLOOD, FLO-2D, etc). با توجه به خطرات ناشی از شکست دایک ها، بررسی هیدرولیک جریان در محل شکست و روند یابی سیلاب خروجی از اهمیت ویژه ای برخوردار است و تا کنون پژوهشگرانی در کشورهای مختلف اقدام به بررسی دو بعدی شکست دایک و پهنه بندی سیلاب ناشی از آن پرداخته اند. Aureli و Mignosa (۲۰۰۱ و ۲۰۰۴)، یک روش عددی تفاضلات محدود دو بعدی ارائه نمودند و پس از ارزیابی روش عددی باداده های آزمایشگاهی، شکست دایک یک رودخانه در شمال ایتالیا را مورد مطالعه قرار دادند. Ying و همکاران (۲۰۰۴)، انتشار سیلاب ناشی از شکست سد و دایک را بوسیله یک روش

¹Dynamic grid

²Circular dam break

³Yellow river

آب روی جبهه خشک می باشد مورد استفاده قرار گرفته است.

مواد و روش ها

در حالت دو بعدی، معادلات حاکم، معادلات دو بعدی ناویر استوکس متوسط گیری شده در عمق هستند. این معادلات شامل سه دسته معادله پیوستگی، معادله مومنتم در جهت x و معادله مومنتم در جهت y هستند که برای یافتن سه مجهول، سرعت (یا بده) در جهت x و y و عمق (یا تراز) آب حل می گردند و به صورت زیر هستند (DHI, 2000) (Chaudhry, 1993):

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(p)}{\partial x} + \frac{\partial(q)}{\partial y} = 0$$

معادله پیوستگی

(۱)

مومنتم در جهت x

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(p^2 H)}{\partial x} + \frac{\partial(g H^2 / 2)}{\partial x} + \frac{\partial(pq / H)}{\partial y} = gH \left(-\frac{\partial h_0}{\partial x} - \frac{p \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 H^2} \right) + \nu [2 \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial x \partial y}]$$

(۲)

مومنتم در جهت y

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial(q^2 H)}{\partial y} + \frac{\partial(g H^2 / 2)}{\partial y} + \frac{\partial(pq / H)}{\partial x} = gH \left(-\frac{\partial h_0}{\partial y} - \frac{q \sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 H^2} \right) + \nu [2 \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial y}]$$

(۳)

توجه قرار گرفته است. الگوی عددی به کار رفته برای حل معادلات حاکم ADI (Alternating Direction Implicit) نام دارد. این الگوی عددی به خاطر دامنه وسیع پایداری و برقراری توازن مطلوب بین هزینه محاسباتی و دقت به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته است (Liang et al., 2006). الگوی عددی ADI نخستین بار توسط Wardak (1976) در مدلسازی هیدرودینامیکی مورد استفاده قرار گرفت (Wardak, 1976).

آزمایشات سنجش اعتبار مدل عددی در شرایط جریان خروجی از سرریز اضطراری دایک

و تقریبی هستند، اکثر پژوهشگران ابتدا روشهای عددی خود را با اطلاعات آزمایشگاهی یا نتایج دیگر روشهای عددی صحت سنجی نموده سپس روشهای عددی خود را به مطالعات موردی تعمیم داده اند. اخیرا در کشور ایران و سایر کشورهای دنیا استفاده از مدل MIKE21 مورد توجه قرار گرفته است (شفیعی فر و حسینی، ۱۳۷۹، کرمی خانیکی و همکاران، ۱۳۸۴، اردانی و سلطانیپور ۱۳۸۷ و غیره). در این مقاله مدل MIKE21 برای شبیه سازی شکست دایک مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از آن، مطالعه موردی در منطقه رودخانه حله در استان بوشهر صورت پذیرفته است. شایان ذکر است که مدل MIKE21 معمولا در محیط دریا مورد استفاده قرار می گیرد، اما در این پژوهش در رودخانه و سیلاب دشت که شامل تغییرات توپوگرافی شدید و حرکت

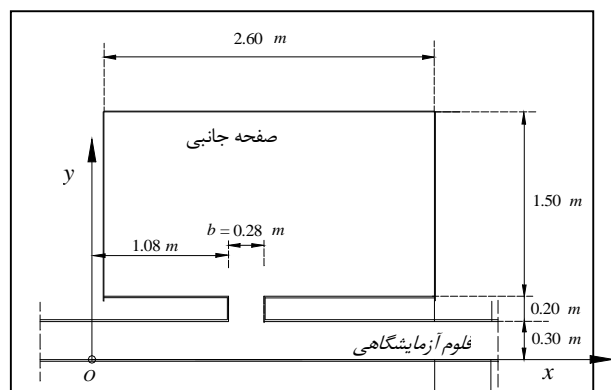
در این معادلات H عمق آب، p و q به ترتیب بده جریان در جهت x و y ، C ضریب شزی (Chezy)، ν ضریب لزجت تلاطم، h_0 عمق آب در زیر سطح آب ساکنو g شتاب جاذبه می باشد.

مدل MIKE21 یک مدل دو بعدی است که معادلات حاکم را در غالب روش تفاضلات محدود ضمنی بر روی یک شبکه محاسباتی جابجا شده (Staggered) حل می کند. این مدل برای شبیه سازی جریان های با سطح آزاد در دریاها، خلیج ها، خورها و نواحی ساحلی توسط موسسه هیدرولیک دانمارک (DHI¹) توسعه یافته است (DHI, 2000). در این مطالعه کارکرد مدل مذکور در رودخانه و سیلابدشت مورد

¹Danish Hydraulic Institute

صفحه جانبی را احاطه کرده که جریان خروجی از دایک پس از انتشار در صفحه دو بعدی به درون این ناودانی می ریزد. اندازه گیری بده خروجی از دایک بوسیله تعبیه یک سرریز مثلثی لبه تیز در انتهای ناودانی میسر است. به منظور بدست آوردن تعداد و جهت بردارهای سرعت، وسایل اندازه گیری در دو موقعیت مختلف، یکی در خارج از فلوم و مقابل محل شکست (مولفه x) و دیگری در داخل فلوم (مولفه y) و در پایین دست محل شکست قرار گرفته اند. شکل (۱) نشان دهنده پلان محدوده شبیه سازی است. در شرایط ماندگار برای هر سرعت سنج ۱۰۰۰ پروفیل سرعت ثبت گردید. در نهایت به منظور حذف آثار نوسانات ناشی از تلاطم یا جریان ورودی از پمپ، پروفیل های سرعت نسبت به زمان متوسط گیریشدند (Aureli and Mignosa, 2001).

به منظور اطمینان از پاسخ های مدل MIKE21 در شبیه سازی شکست دایک، نتایج مدل با اطلاعات آزمایشگاهی موجود در پیشینه پژوهش مورد مقایسه قرار گرفتند. در این مطالعه ارزیابی مدل MIKE21 در شبیه سازی شکست دایک بر اساس آزمایشهای صورت پذیرفته توسط Aureli و Mignosa که در دانشگاه Parma انجام گرفته، (Aureli & Mignosa, 2001) صورت پذیرفته است. آزمایشات در یک فلوم به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۳ متر و شیب ۰/۱٪ انجام پذیرفته است. یکی از دیوارهای جانبی فلوم در یک بازه ۰/۲۸ متری بوسیله دو صفحه جایگزین شده تا با باز شدن ناگهانی آن شکست دایک شبیه سازی گردد. یک صفحه جانبی نیز در مجاورت فلوم و محل شکست دایک وجود دارد. بده ورودی به فلوم ۳۵ لیتر بر ثانیه بوده و ضریب زبری مانینگ برای کف و دیواره ها معادل ۰/۰۰۹ برآورد شده است. عمق آب و پروفیل های سرعت درون فلوم و بالادست محل شکست بوسیله عمق سنج و سرعت سنج اکوستیک داپلر (Acoustic Doppler Velocimeter) در شرایط ماندگار اندازه گیری شده است. یک ناودانی دورادور



شکل (۱): پلان محدوده شبیه سازی (Aureli and Mignisa, 2001)

Courant تعیین گردید. بده های ورودی و خروجی به عنوان شرایط مرزی در بالادست و پایین دست فلوم شبیه سازی شده تعریف گردیدند. در پژوهش حاضر، شرط مرزی شکست دایک در محل شکست، تعریف شده است، به دو طریق می توان شرط مرزی را تعریف نمود؛ اعمال نتایج آزمایشات، یعنی میزان بده اندازه گیری شده در محل شکست در

تجزیه و تحلیل نتایج صحت سنجی مدل MIKE21

به منظور صحت سنجی مدل ریاضی، آزمایشات بوسیله مدل MIKE21 شبیه سازی گردید. پس از تحلیل حساسیت نتایج به گام مکانی، یک شبکه محاسباتی ۵۰۰ در ۱۷ مناسب تشخیص داده شد و مبنای محاسبات قرار گرفت. گام زمانی نیز با سعی و خطا برای تعیین شرایط پایدار بر طبق معیار

عرض کانال تاثیر گذار تابعی از عرض سیلابدشت، عرض شکست و عدد فرود جریان سیلابدشت می باشد. چنانچه نسبت عرض کانال تاثیر گذار و عرض شکست را با β نشان دهیم خواهیم داشت:

$$\beta = \frac{b_i}{b_{br}} \approx (1.18 - \sqrt{Fr}) \frac{b_{fp}}{b_{br}} \quad (7)$$

ضریب همبستگی این رابطه 0.72 است. بنابراین با استفاده از این رابطه عرض تاثیر گذار بدست خواهد آمد.

پس از تنظیم شبکه محاسباتی و اعمال شرایط مرزی و در مدل MIKE21، میدان سرعت محاسبه گردیده و با داده های آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. شکل (۲) الگوی جریان شبیه سازی شده به همراه بردارهای بده، در نزدیکی محل شکست دایک نشان داده شده است. در شکل (۳) مقایسه بین نتایج مدل سازی و اطلاعات آزمایشگاهی پروفیل های سرعت در مقابل محل شکست (جهت y) را در داخل فلوم و مقابل محل شکست نشان می دهد. مقایسه نتایج مدل سازی و داده های آزمایشگاهی در سه ایستگاه مهم در بالادست، میانه و پایین دست محل شکست صورت پذیرفته است.

بر اساس این اشکال توافق نسبی خوبی بین نتایج شبیه سازی و اطلاعات اندازه گیری شده مشاهده می شود و مدل توانایی مناسبی در شبیه سازی الگوی جریان در مجاورت محل شکست نشان میدهد. البته با حرکت از بالا دست محل شکست به سمت پایین دست میزان خطاها افزایش می یابد. این موضوع ممکن است به دلایل زیر باشد:

آزمایشگاه و یا تخمین بده خروجی از محل شکست با استفاده از روابط موجود که این حالت قابل تعمیم به موارد مشابه و واقعی نیز می باشد. در این مطالعه حالت دوم مد نظر قرار گرفت و در محل شکست دایک بده خروجی بوسیله روش ارائه شده توسط Kamrath و همکاران (۲۰۰۶) تخمین زده شد و در محل شکست تعریف گردید. محاسبه بده به وسیله روش مذکور در محل شکست با اطلاعات آزمایشگاهی تنها $5/6\%$ اختلاف داشت و مناسب تشخیص داده شد. بر اساس روش مذکور بده عبوری از دایک شکسته شده، بستگی به عمق جریان، سرعت جریان، عرض شکست و عرض کانال تاثیر گذار دارد، که بوسیله روابط زیر بیان می شود:

$$Q_{br} = 0.385 \mu^* \sqrt{2g} b_{br} h_{fp}^{2/3} \quad (4)$$

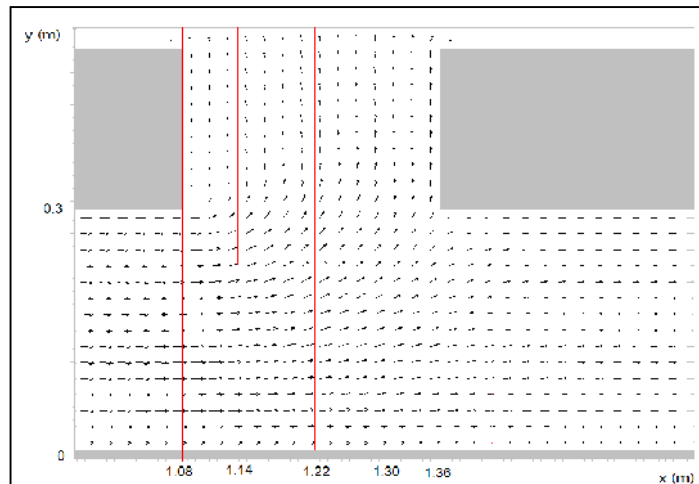
در این معادله Q_{br} بده عبوری از قسمت شکسته شده دایک، μ^* پارامتر شکست دایک، g شتاب جاذبه، b_{br} عرض شکست و h_{fp} عمق جریان در سیلابدشت می باشد. فرض اساسی این رابطه اینست که شکست دایک در بازه مستقیم رودخانه اتفاق می افتد. باید توجه کرد که، قسمتی از جریان درون کانال یا رودخانه بیشتر تحت تاثیر شکست دایک قرار می گیرد. در این قسمت خطوط جریان از خط اصلی به سمت شکست منحرف می گردند. واضح است که میزان جریان عبوری از شکست، وابستگی زیادی به عرضی از رودخانه، که تحت تاثیر شکست قرار گرفته است دارد. این عرض، عرض تاثیر گذار، b_i نامیده می شود. عرض تاثیر گذار خود به عرض شکست وابسته است.

در معادله (۱)، پارامتر شکست دایک بر طبق رابطه زیر بدست می آید:

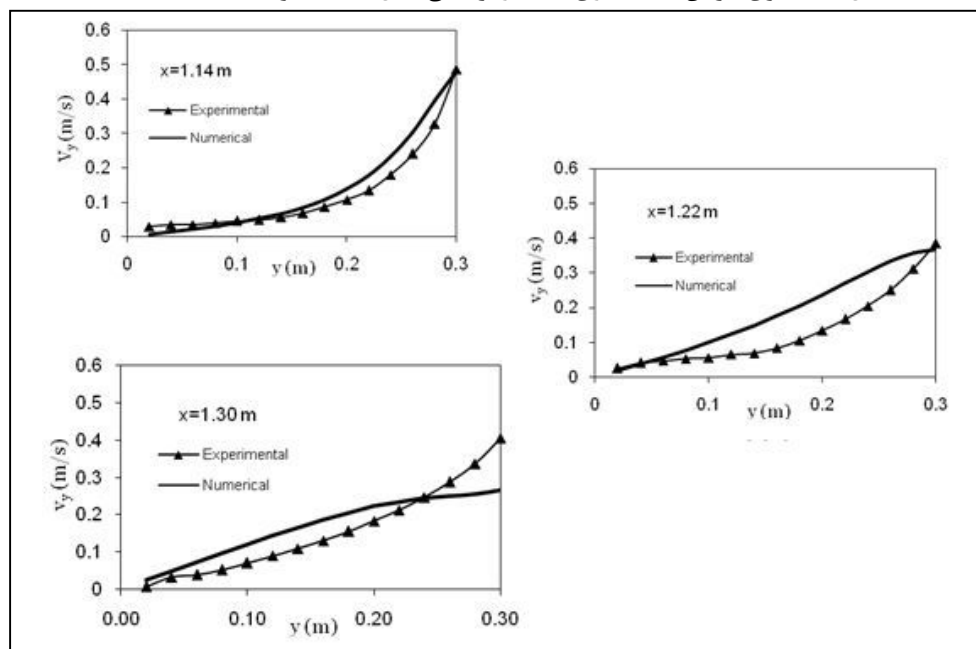
$$\mu^* = 0.1146 \ln(\xi) + 0.6895 \quad (5)$$

$$\xi = 0.4 \sqrt{Fr} \left(\frac{b_i}{b_{br}} \right)^2 \quad (6)$$

Fr عدد فرود جریان داخل رودخانه، در بالادست محل شکست می باشد.



شکل (۲): الگوی جریان شبیه سازی شده در نزدیکی محل شکست بوسیله MIKE21



شکل (۳): مقایسه نتایج مدل سازی و اطلاعات آزمایشگاهی: $x=1.14$ m (بالادست محل شکست) $x=1.22$ m (میان محل شکست) $x=1.30$ m (پایین دست محل شکست). محور های x و y در شکل (۲) نمایش داده شده است.

کننده امواج شوک (Shock Capturing) نمی باشد. امواج شوک وقتی بوجود می آیند که جریان در یک فاصله کوتاه از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی یا بالعکس تبدیل گردد. در این حالت سطح آب با اغتشاشات شدید و ناپیوستگی همراه است. مثال بارز موج شوک، موج ناشی از شکست دایک یا سد می باشد. بنا به تعریف، "امواج شوک حل های ناپیوسته قوانین بقاء هذلولوی هستند که از یک سری شرایط ریاضی دقیق پیروی می کنند." (Toro, 2001). باز کردن ناگهانی

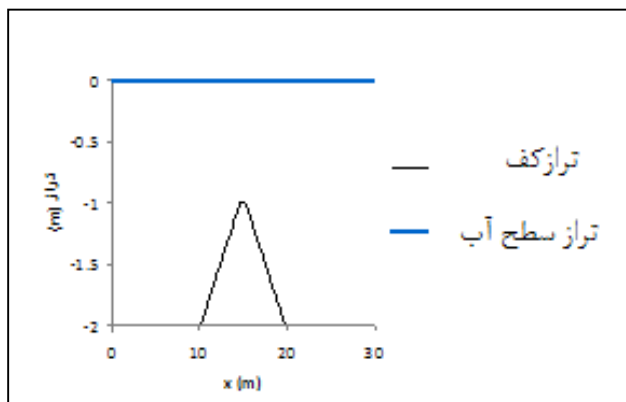
پروفیل های سرعت اندازه گیری شده در آزمایشگاه با قرار دادن سرعت سنج در فاصله 2cm بالای کف فلوم بدست آمده اند، در حالیکه نتایج شبیه سازی عددی، مقادیر متوسط گیری شده در عمق هستند. همچنین وجود یک دیواره صلب که عمود بر محل شکست وجود دارد، انحنای تیزی را به سطح آب تحمیل می کند که یک توزیع فشار غیر هیدرواستاتیک را که خلاف فرض مدل ریاضی است بوجود می آورد. الگوی عددی مدل (2000) MIKE21، تسخیر

ارزیابی توانایی مدل برای شبیه سازی جریان بر روی توپوگرافی

چنانچه یک روش عددی توانایی شبیه سازی درست جریان بر روی توپوگرافی را داشته باشد، باید ویژگی معروف به "C" را برآورده نماید. این ویژگی در واقع به مفهوم برقراری تعادل میان ترم های منبع (Source term) و گرادیان بده (Flux gradient) در معادلات حاکم، در وضعیت جریان ساکن بر روی ناهمواری بستر است (Liang et al., 2006, Baghlani et al., 2008, Caselles et al., 2009). یک روش مرسوم برای آزمایش یک مدل عددی هیدرولیکی از نظر دارا بودن این ویژگی، برقراری جریان ساکن بر روی یک برآمدگی در کف می باشد. در الگوی عددی که تعادل به طور مطلوبی در آن تامین گردد، در حالت جریان ساکن بر روی یک بستر ناهموارنبایستی نوسان بوجود آید. شکل (۴) نشان دهنده شرایط مطلوب در این حالت است که توسط مدل MIKE21 شبیه سازی گردیده و نتایج حاکی از ارضای ویژگی C می باشد. این موضوع، نشان دهنده توانایی مدل برای شبیه سازی جریان بر روی توپوگرافی ناهموار است.

دریچه جانبی فلوم برای شبیه سازی شکست دایک منجر به تبدیل سریع حالت جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی در نزدیک محل شکست و به عبارت دیگر تشکیل موج شوک می گردد. پس از استقرار جریان در شرایط ماندگار نیز، تبدیل سریع حالت جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی همچنان وجود دارد. تا کنون تلاش هایی در زمینه بهبود عملکرد مدل MIKE21 در شرایط مذکور صورت پذیرفته است. به عنوان مثال McCown و همکاران در سال ۲۰۰۱ مدل MIKE21 بهبود یافته را در شبیه سازی شکست سد و پرش هیدرولیکی مورد ارزیابی قرار دادند. در پژوهش حاضر نیز از همین نسخه استفاده شده است.

با توجه به موارد مذکور چنانچه مطالعه جریان به صورت موضعی در محل شکست مد نظر باشد، مدل سه بعدی بایستی مورد استفاده قرار گیرد. اما چنانچه مطالعه جریان پس از محل شکست و روندیابی آن مدنظر باشد، استفاده از مدل های دو بعدی مناسب می باشد.



شکل (۴): جریان ساکن بر روی یک برآمدگی

نزدیکی شهرستان برازجان واقع شده و از به هم پیوستن رودخانه های دالکی از جنوب و شاپور از شمال بوجود می آید. رودخانه حله متشکل از سه بازه به نام های "کلل- بصری"، "کره بند" و "خلیج فارس" می باشد (رزمنخواه و هاشمی، ۱۳۸۷). اطلاعات موجود در مورد منطقه مذکور

مطالعه موردی

پس از اطمینان از نتایج مدل در شبیه سازی شکست دایک، به عنوان مطالعه موردی، رودخانه حله در استان بوشهر در نظر گرفته شده است. این رودخانه در استان بوشهر و در

بازه کره بند (منتهی به تالاب حله) و تغییرات تراز آب در اثر جذر و مد در انتهای بازه خلیج فارس (منتهی به خلیج فارس) می باشد. بالادست دو بازه اخیر به همراه پایین دست بازه کلل بصری بوسیله شرط مرزی گره (Junction) تعریف شده اند. شرایط مرزی مدل دو بعدی در ابتدا و انتهای بازه انتخابی که شامل هیدروگراف های جریان است از مدل یک بعدی HEC-RAS در حالت ناماندگار بدست آمده و مورد استفاده قرار گرفتند. شرایط اولیه نیز از مدل HEC-RAS معلوم بوده و در مدل دو بعدی اعمال گردیده است.

برای برپایی مدل دو بعدی مدل MIKE21 پس از ورود اطلاعات مربوط به عمق سنجی و شرایط مرزی و اولیه، با استفاده از معیار Courant پایداری مدل دو بعدی کنترل شده با تحلیل پاسخ های مدل دو بعدی در اندازه شبکه های مختلف، همگرایی نیز کنترل شده است. اجرای مدل در حالتی که دایک های طولی در امتداد رودخانه وجود دارد در نظر گرفته شده است. همانطور که ذکر شد، شکست دایک ها بصورت شکست سرریزهای اضطراری در نظر گرفته شده است.

بحث

پس از اطمینان از پاسخ های مدل در شبیه سازی شکست دایک، شبیه سازی به یک مطالعه موردی تعمیم داده شده است. در این راستا، وضعیت جریان با دوره بازگشت ۲۵ سال در بازه مورد نظر مورد بررسی قرار گرفت. در این مرحله نتایج حاصل از مدل دو بعدی MIKE21 و مدل یک بعدی HEC-RAS در یک بازه از رودخانه در شرایطی که جریان حالت یک بعدی دارد (بدون فرض شکست دایک) مقایسه شده اند.

شامل اطلاعات هیدرولوژی، مقاطع عرضی و نقاط توپوگرافی می باشد. هیدروگراف جریان با دوره بازگشت ۲۵ سال به منظور تعریف شرایط مرزی در بالادست رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است. تعداد ۲۲۲ مقطع عرضی و بیش از ۴۰/۰۰۰ نقطه ارتفاعی در اختیار بوده است. مقاطع عرضی برای تهیه مدل یکبعدی HEC-RAS و نقاط ارتفاعی برای برپایی مدل دوبعدی MIKE21 مورد استفاده قرار گرفته اند. بازه انتخاب شده برای شبیه سازی دو بعدی قسمتی از بازه کلل بصری است که مناطق مسکونی بیشتری در آن وجود دارد (۴ منطقه مسکونی). مساحت این ناحیه در حدود 21 Km^2 است و در شکل (۵ و ۶) مشخص شده است.

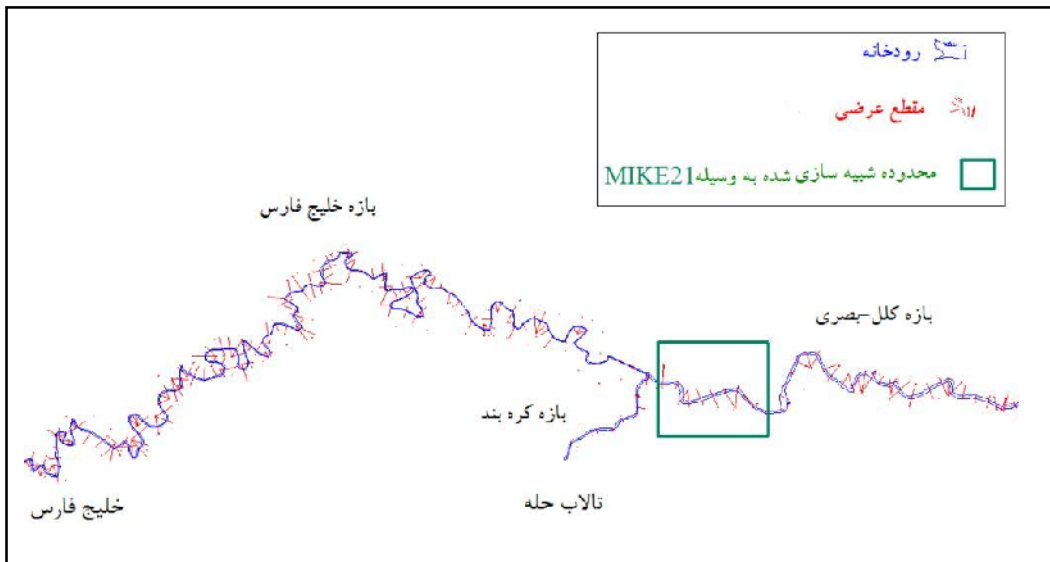
اطلاعات مربوط به عمق سنجی (Bathymetry) و توپوگرافی مدل MIKE21 با استفاده از میانمایی داده های نقشه برداری (نقاط ارتفاعی) در یک شبکه ۲۰ متر در ۲۰ متر تهیه گردید. اصولا میانمایی برای بسط دادن داده های خام توپوگرافی به یک شبکه منظم، برای انجام محاسبات می باشد. روش های مختلف میانمایی - مثل کریجینگ^۱، میانگین متحرک^۲، حداکثر انحنای^۳ و غیره در توپوگرافی ایجاد شده تاثیر گزار می باشند و باعث تشدید یا تخفیف برآمدگی ها و فرورفتگی های توپوگرافی می گردند. در شکل (۷) نتایج سه روش مختلف در تولید توپوگرافی مشاهده می شود. باید توجه داشت که وجود قله های تیز و فرورفتگی های ناگهانی باعث ایجاد مشکلات و ناپایداری هایی در اجرای مدل می گردد. بنابراین پرهیز از روش هایی که سبب تشدید ناهمواری ها می گردد ضروری است. در این پژوهش نیز از گزینه های موجود در نرم افزار MIKE21، روش هایی که موجب تشدید ناهمواری ها نمی گردد، مورد استفاده قرار گرفته اند جهت اطلاعات بیشتر میتوان به راهنمای مدل رجوع کرد (DHI, 2000).

ابتدا در مدل HEC-RAS کل رودخانه حله (شامل سه بازه) در حالت ناماندگار شبیه سازی شده است. شرایط مرزی مدل یک بعدی شامل هیدروگراف جریان با دوره بازگشت ۲۵ سال در ابتدای بازه کلل بصری، عمق نرمال در پایین دست

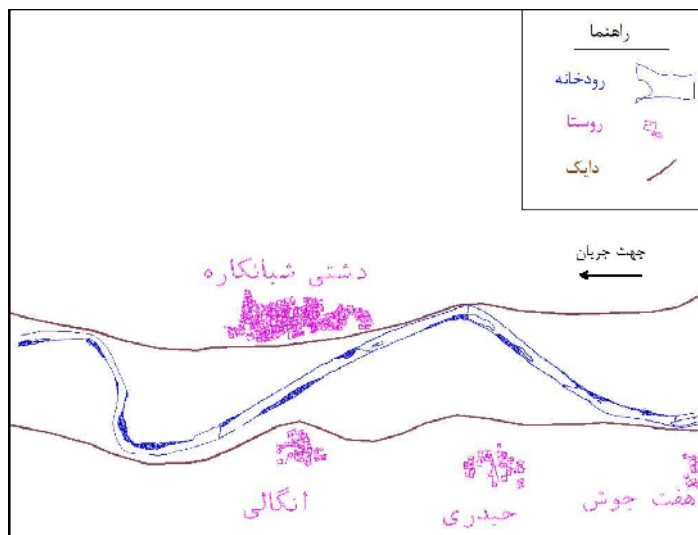
^۱Kriging

^۲Moving average

^۳Maximum curvature



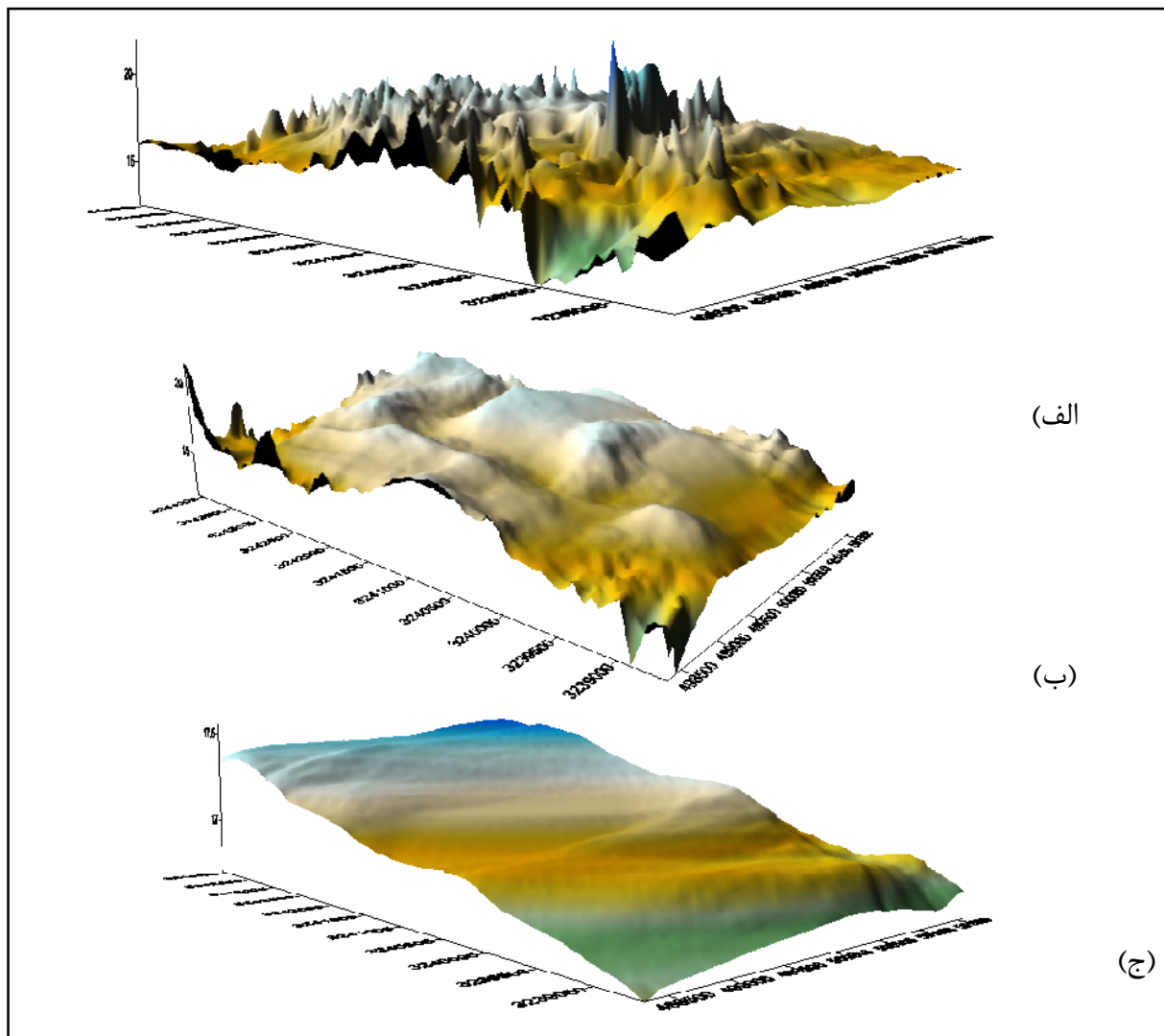
شکل (۵): رودخانه حله و بازه های شبیه سازی شده به صورت یک بعدی و دو بعدی



شکل (۶): محدوده انتخاب شده برای شبیه سازی دو بعدی و روستاهای موجود در آن

سازي صورت پذيرفته است. در شكل (۸) هيدروگراف هاي سطح آب دو مدل در يك بازه زماني ۳۳ ساعته با يکديگر مقايسه گرديده اند. اختلاف در تراز سطح آب، بسيار ناچيز است. از لحاظ زمان رسيدن به اوج هيدروگراف اختلاف در حدود ۱ ساعت مي باشد.

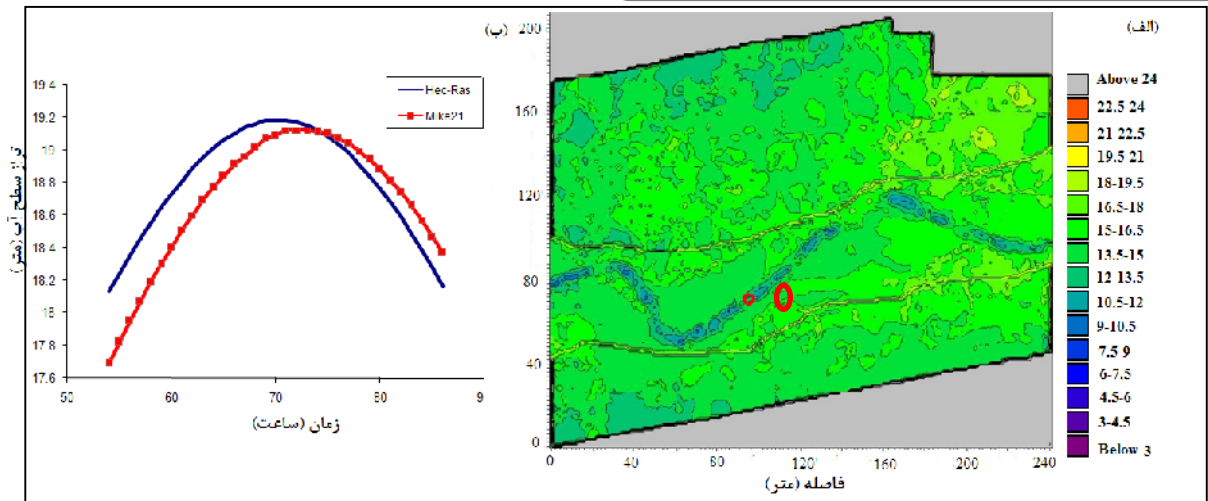
به اين منظور، در ميانه رودخانه هيدروگراف جريان حاصل از دو مدل MIKE21 و HEC-RAS مقايسه شده است. جريان رودخانه، محدود به درون دايک ها (بدون فرض شکست در هر دو مدل يک بعدی و دو بعدی) شبیه سازی شده است. از آنجا که از مهم ترين نقاط هيدروگراف، نقطه اوج آن است، مقايسه در حوالی نقطه اوج و در اواسط محدوده شبیه



شکل (۷): توپوگرافی تولید شده به سه روش مختلف توسط نرم افزار Surfer:
 الف) کریجینگ (ب) چند جمله ای محلی (Local polynomial) (ج) میانگین متحرک

یک بعدی می باشد- مقرون به صرفه است. مثلاً برای به دست آوردن هیدروگراف جریان در شکل (۸) مدل یک بعدی با یک رایانه با پردازشگر ۲/۷ مگاهرتز و حافظه ۵۱۲ Ram مگابایت در طی ۶ دقیقه اجرا شده در حالیکه در مورد مدل دو بعدی ۱۱ ساعت زمان صرف شده است. با این وجود زمان حرکت موج سیلاب در روش های یک بعدی تا حدی دارای خطا می باشد که در پژوهش حاضر نسبت به مدل دوبعدی، زمان رسیدن به اوج هیدروگراف کمتر تخمین زده شده است.

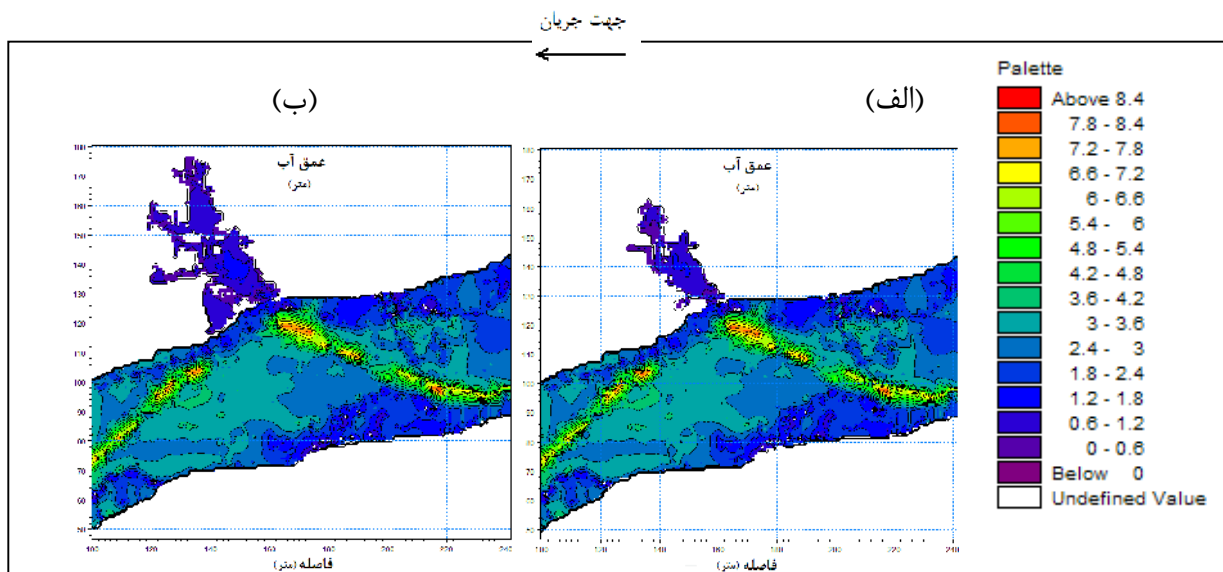
این اختلاف را می توان به تفاوت معادلات حاکم در روش های یک بعدی و دو بعدی و همچنین فاصله زیاد مقاطع عرضی در مدل یک بعدی نسبت داد، چراکه منجر به تغییر وضعیت توپوگرافی و عمق سنجی می گردد. با توجه به نتایج این مقایسه می توان چنین نتیجه گرفت که با توجه به پرهزینه و زمان بر بودن مدل های دوبعدی نسبت به مدل های یک بعدی، از نظر تهیه اطلاعات ورودی و اجرای مدل، استفاده از مدل های یک بعدی به منظور برآورد حداکثر تراز آب در شرایطی که حرکت عمومی جریان تقریباً به صورت



شکل (۸): الف) محل مورد نظر برای مقایسه هیدروگراف های سطح آب (منحنی های هم رنگ نشان دهنده تراز کف هستند) ب) مقایسه هیدروگراف های تراز سطح آب در مدل MIKE21 و HEC-RAS در حوالی نقطه اوج (شکل رنگی)

از ۶۳/۷۵ دقیقه به مرز بسته میرسد، (با عرض شکست ۶۳/۲ متر) در شکل (۹) دیده میشود. وضعیت انتشار سیلاب در ۳۰ دقیقه پس از شکست دایک نیز در این شکل دیده می شود. همانطوری که در این شکل دیده می شود عرض شکست تاثیر قابل ملاحظه ای بر انتشار سیلاب دارد. در جدول (۱) خلاصه نتایج این سناریو ارائه شده است.

در ادامه به عنوان چند سناریو، شکست سرریز اضطراری دایک در بازه های مختلف منطقه مذکور در نظر گرفته شده است. در ابتدا شکست سرریز اضطراری، در بالادست روستای دشتی شبانکاره در نظر گرفته شده است. این روستا بزرگترین منطقه مسکونی موجود در منطقه مورد مطالعه است. برای نشان دادن تاثیر عرض شکست در انتشار سیلاب، دو عرض شکست ۶۳/۲ متر و ۸۲/۵ متر در نظر گرفته شده اند. حد نهایی شبیه سازی شده که در آن سیلاب پس



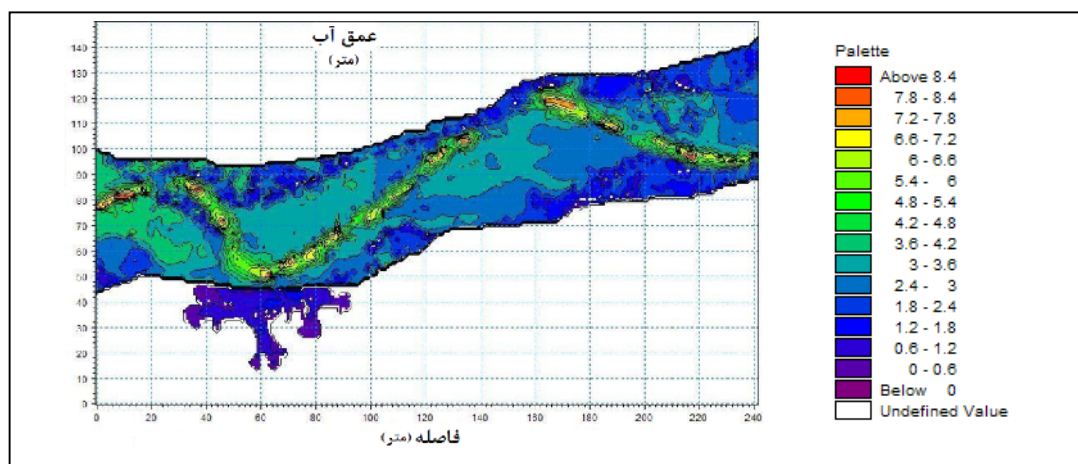
شکل (۹): منحنی های هم عمق گستره سیلاب پس از ۳۰ دقیقه عرض شکست: الف) ۶۳/۲ متر ب) ۸۲/۵ متر. (شکل رنگی)

جدول (۱): تاثیر عرض شکست در زمان رسیدن موج سیل

عرض شکست (m)	فاصله شکست تا روستا (m)	زمان رسیدن سیلاب به روستا (min)
۶۳/۲	۳۸۰	۴۰/۲۵
۸۲/۵	۳۸۰	۲۰/۲۵

سازی نشان میدهد که به علت هموار بودن سیلابدشت رودخانه جریان ناشی از شکست، در جهات مختلف و حتی در خلاف جهت جریان رودخانه منتشر شده و تقریباً همزمان با رسیدن سیلاب به مرزهای بسته، به مرز روستای انگالی هم می رسد فاصله ابتدای محل شکست تا روستا برابر ۵۴۰ متر و زمان رسیدن سیلاب در این حالت ۹/۶ دقیقه می باشد. شکل (۱۰) وضعیت انتشار سیلاب را در ۹/۶ دقیقه پس از شکست نشان می دهد.

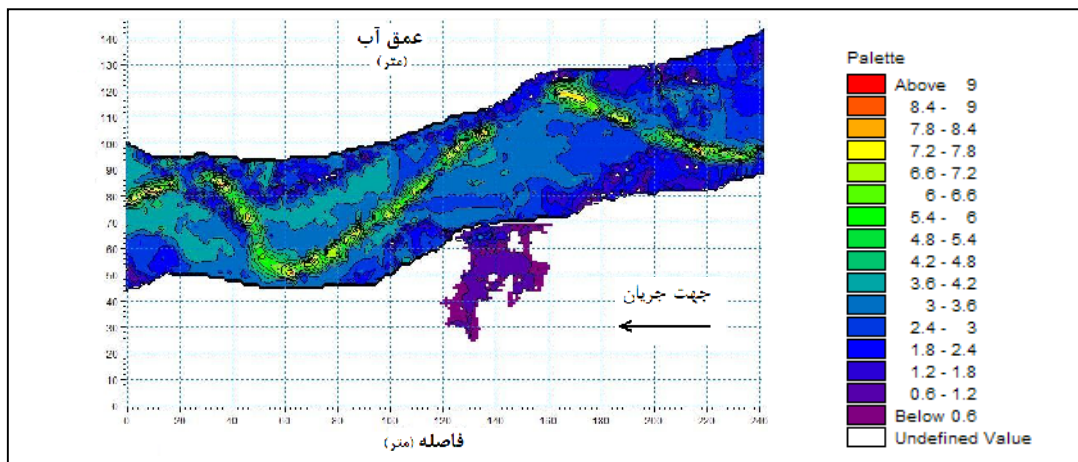
به عنوان سناریوی دوم شکست سرریز اضطراری در حوالی روستای انگالی در نظر گرفته شده (شکل (۶)). در دوران این روستا نیز دایک حلقوی وجود دارد. همانند شبیه سازی های قبلی، به علت محدودیت نقشه برداری شبیه سازی تا رسیدن جریان به مرزهای بسته قابل اعتماد است. در حدود ۵۰۰ ۶۰۰ متر پایین دست روستای انگالی، یک قوس خارجی تند وجود دارد که احتمال شکست دایک را افزایش میدهد (رجوع به شکل (۶)). عرض سرریز اضطراری معادل ۸۰ متر در این بازه در نظر گرفته شد. شبیه



شکل (۱۰): منحنی های عمق گستره سیلاب پس از ۹/۶ دقیقه در سناریوی دوم (شکل رنگی)

فاصله مرکز محل شکست تا روستای حیدری حدود ۴۶۰ متر و تا روستای انگالی حدود ۵۵۰ متر می باشد. زمان رسیدن موج سیلاب به روستای حیدری ۱۴/۲ دقیقه و تا رسیدن به روستای انگالی ۱۴/۲۵ دقیقه است که تقریباً همزمان به مرزهای بسته هم می رسد. شکل (۱۱) وضعیت انتشار سیلاب را در ۱۴/۲۵ دقیقه پس از شکست دایک نشان می دهد.

در سناریوی سوم شکست سرریز اضطراری بین روستای حیدری و انگالی قرار گرفته است. فاصله این روستا با رودخانه نسبت به سایر روستاها بیشتر است (در حدود ۸۰۰ متر). ضمن اینکه در قوس داخلی رودخانه واقع شده است. در این سناریو محل شکست سرریز اضطراری ما بین دو روستای حیدری و انگالی (پایین دست روستای حیدری و بالادست روستای انگالی) و به عرض ۶۰ متر در نظر گرفته شده است.



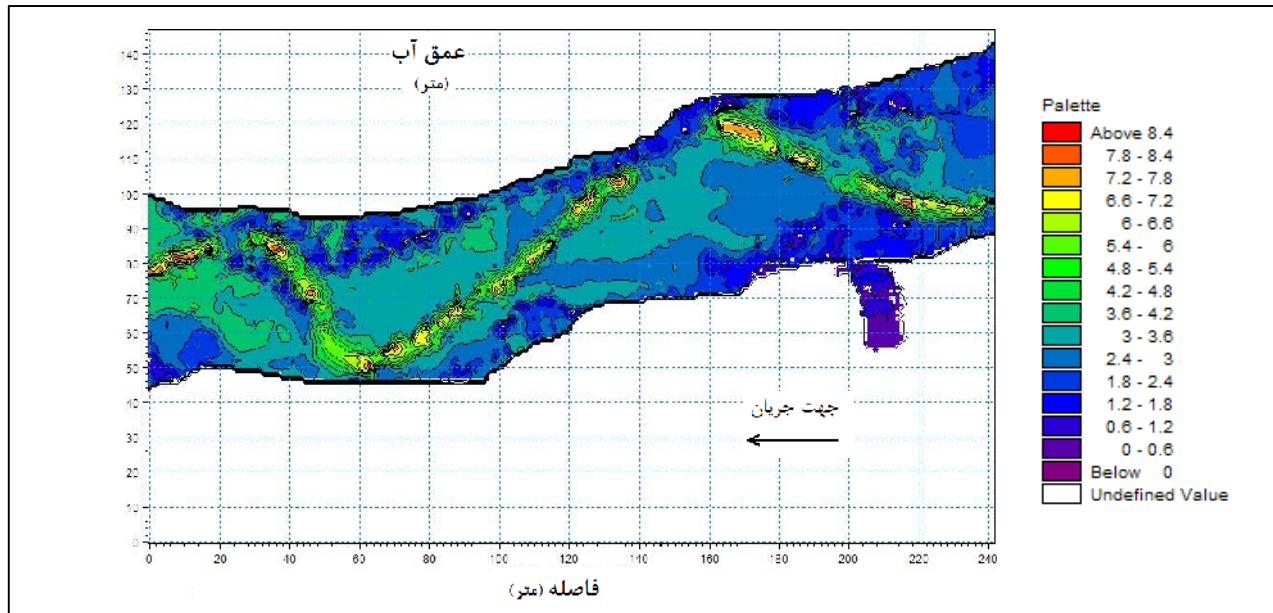
شکل (۱۱): منحنی های هم عمق گستره سیلاب پس از ۱۴/۲ دقیقه در سناریوی سوم (شکل رنگی)

این سناریو به همراه سناریوهای قبلی این مسئله را نشان میدهد که در مناطقی که سیلابدشت های رودخانه هموار هستند، جریان می تواند در جهت های مختلف و حتی خلاف جهت جریان در رودخانه حرکت کند و این مسئله لزوم کاربرد روش های دو بعدی جهت شبیه سازی جریان را در این موارد نشان می دهد.

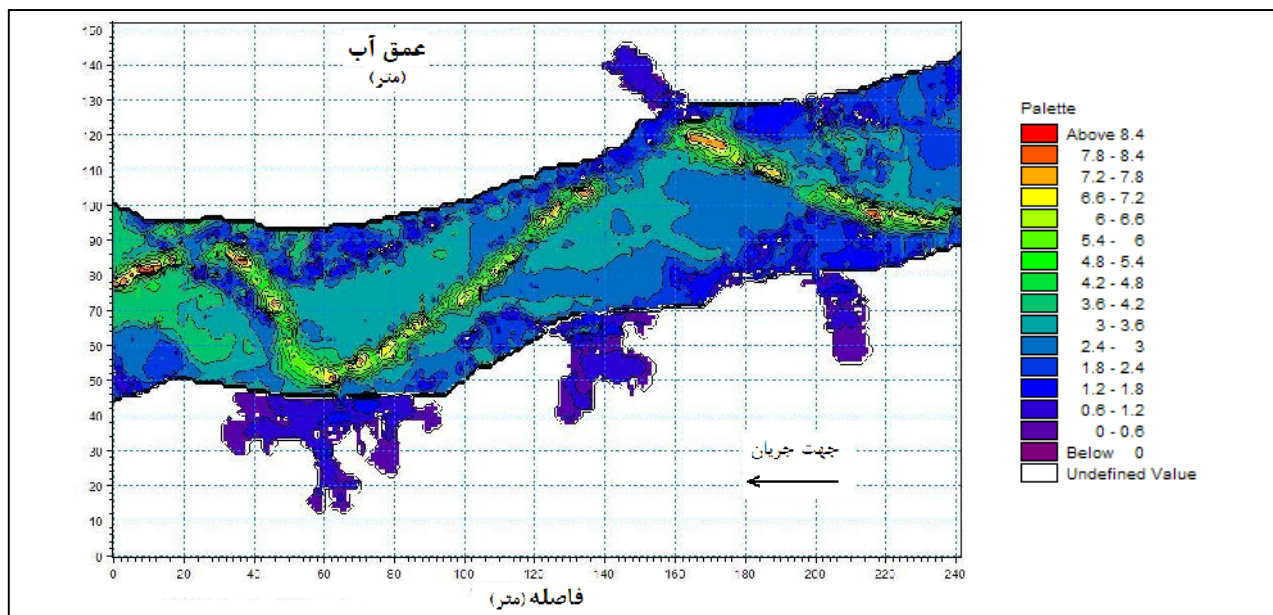
مطابق این شکل با وجود اینکه عرض شکست در بالادست روستای شبانکاره (۸۲/۵ متر) بیشتر از عرض شکست سرریز اضطراری در پایین دست رودخانه انگالی است (۶۰ متر)، اما در زمان یکسان، سیلاب ناشی از شکست پایین دست انگالی، محدوده بیشتری را نسبت به شکست بالادست شبانکاره در بر می گیرد. علت این موضوع را می توان به وضعیت توپوگرافی منطقه نسبت داد که منجر به پخش یا کنترل سیلاب می گردد. البته احتمالاً پیچ و خم های رودخانه هم در این موضوع دخیل هستند. با اینکه دو شکست مذکور در قوس خارجی رودخانه واقع هستند، اما قوس رودخانه در مجاورت شکست پایین دست رودخانه انگالی شدیدتر به نظر می رسد و این مسئله در هدایت سیلاب از رودخانه به سیلابدشت بی تاثیر نیست.

به عنوان سناریوی چهارم، شکست سرریز اضطراری بین روستای هفت جوش و حیدری در نظر گرفته شده است. این روستا در قوس خارجی رودخانه واقع شده و همانند دیگر روستاها یک دایک حلقوی دورادور آن را فراگرفته است. مرکز شکست به عرض ۴۰ متر در فاصله ۳۳۱ متری پایین دست روستای هفت جوش و ۳۳۲ متری بالادست روستای حیدری قرار دارد. موج سیلاب پس از ۱۰/۱ دقیقه به مرز روستای هفت جوش رسیده و قبل از رسیدن به مرز روستای حیدری، در زمان ۱۴/۲ دقیقه از شروع شبیه سازی، به مرز بسته می رسد. با اینکه محل شکست تقریباً وسط دو روستای هفت جوش و حیدری واقع شده و روستای هفت جوش در بالادست محل شکست قرار دارد اما به علت توپوگرافی خاص سیلابدشت، سیلاب بیشتر به سمت بالادست حرکت می کند. شکل (۱۲) نشاندهنده وضعیت انتشار سیلاب در ۱۴/۱ دقیقه پس از شکست سرریز اضطراری است.

در نهایت به منظور تهیه اطلاعات کلی، همپوشانی سناریو های قبلی به عنوان یک سناریوی جدید در نظر گرفته شده است. وضعیت جریان در ۱۰ دقیقه پس از شکست سرریز های اضطراری مطابق شکل (۱۳) می باشد.



شکل (۱۲): منحنی های هم عمق گستره سیلاب پس از ۱۴/۱ دقیقه در سناریوی چهارم (شکل رنگی)



شکل (۱۳): منحنی های هم عمق گستره سیلاب پس از ۱۰ دقیقه در سناریوی پنجم (شکل رنگی)

توجه به سمت کانال اصلی رودخانه تمایل دارند و لذا شبیه سازی جریان در آن ها، با مدل های یک بعدی نظیر MIKE11 و HEC-RAS قابل قبول و منطقی است، در رودخانه های واقع در نواحی با سیلابدشت های هموار که معمولاً نزدیک دریا می باشند (مانند رودخانه حله)، به دلیل

همانگونه که در سناریو های مختلف دیده می شود، انتشار سیلاب در جهات مختلف و حتی در خلاف جهت جریان رودخانه در کانال اصلی، وجود دارد. سوابق تاریخی رودخانه حله هم این مسئله را تایید می کند. برخلاف رودخانه های کوهستانی که در آن ها سیلابدشت ها عموماً با شیب قابل

در جهات مختلف و حتی در خلاف جهت جریان اصلی در رودخانه انتشار می یابد. در این حالت روش های یک بعدی ناکارآمد بوده و استفاده از روش های دو بعدی اکیدا توصیه می گردد. گرچه در حالتیکه جریان به درون دایک ها محدود شده، در یک بازه مستقیم، مدل یک بعدی HEC-RAS در پیش بینی تراز سطح آب کارآمد است. ولی در این حالت هم، زمان رسیدن به اوج کمتر تخمین زده شده است. مدل MIKE21 در اصل برایشبیه سازی جریان در دریاها، خورها و خلیج ها توسعه یافته و کاربرد آن در رودخانه و سیلابدشت همراه با مشکلاتی می باشد، اما نتایج این پژوهش نشان میدهد که در موارد مذکور نیز مدل، از توانایی خوبی برخوردار است. مشکلات موجود در زمینه شبیه سازی جریان در رودخانه و سیلابدشت، عموما مربوط به ناهمواری های متعدد است که منجر به تر و خشک شدن های متوالی و بروز ناپایداری در مدل می گردد. از لحاظ هزینه و زمان محاسباتی باید گفت که نسبت به مدل های یک بعدی نظیر MIKE11 و HEC-RAS به اطلاعات ورودی بیشتری نیاز داشته و محاسبات آن در مقایسه با مدل های مذکور بسیار زمانبر می باشد. همچنین با استفاده از شبیه سازی دو بعدی، تاثیر سرریز های اطمینان و محل آن ها بر انتشار سیلاب قابل بررسی است. این موضوع در طراحی سرریز های اطمینان بسیار مفید خواهد بود. در نهایت شکست دایک در بالادست یک منطقه مسکونی به عنوان یک سناریو در نظر گرفته شده. بر اساس نتایج حاصله عرض شکست تاثیر قابل ملاحظه ای بر انتشار سیلاب دارد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از خانم دکتر Aureli و آقای دکتر Mignosa از دانشگاه Parma ایتالیا که در تامین اطلاعات آزمایشگاهی همکاری نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی می گردد.

انتشار سیلاب در جهات مختلف، استفاده از مدل های دوبعدی اجتناب ناپذیر است.

از آنجاکه مدل MIKE21 جهت شبیه سازی جریان در دریاها و خورها توسعه یافته است، استفاده از آن در سیلابدشت و رودخانه با مشکلاتی همراه است. یکی از این مشکلات تر و خشک شدن های متوالی است که منجر به ناپایداری مدل می گردد و برای جلوگیری از آن بایستی از یک توپوگرافی و عمق سنجی که موجب تشدید ناهمواری ها نگردد، استفاده نمود. وجود برآمدگی ها و فرورفتگی های ناگهانی اجرای مدل را با مشکلاتی از نظر پایداری روبرو می کند. ضمنا از آنجاکه عدد Courant در حدود ۵ برای اجرای مدل و تامین شرایط پایدار در نظر گرفته شده، گام زمانی ۵ ثانیه در شبیه سازی ها بکاربرده شده است که زمان محاسبات را بسیار افزایش میدهد. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان میدهد که استفاده از مدل MIKE21 در رودخانه و سیلابدشت امکانپذیر است.

نتیجه گیری

در این مقاله، پاسخ های مدل دو بعدی MIKE21 در شبیه سازی شکست دایک، با داده های آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفتند. معیار مقایسه بردار های سرعت در مقابل محل شکست بودند. تطابق نسبی پاسخ های مدل ریاضی و اطلاعات آزمایشگاهی نشان می دهد که مدل MIKE21 توانایی شبیه سازی شکست دایک را دارد. البته چنانچه مطالعه دقیق جریان تنها در محل شکست مورد نظر باشد، به خاطر انحنای شدید سطح آب، مدل های سه بعدی و یا دو بعدی تسخیر کننده امواج شوک، به نتایج بهتری منتهی می گردند. پس از سنجش صحت نتایج مدل MIKE21، رودخانه حله به عنوان مطالعه موردی در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان می دهد که در رودخانه هایی با سیلابدشت های هموار، مانند رودخانه حله جریان سیلاب به صورت کاملا دو بعدی،

منابع

- ۱- اردانی، سمیرا و سلطانیپور، محسن (۱۳۸۷). "مدلسازی شکل خط ساحلی بندر صیادی بريس در حالت تعادل دینامیکی"، مجموعه مقالات هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران: دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).
- ۴ رزمخواه، هما و هاشمی، محمدرضا (۱۳۸۶). "مشکلات تعیین حریم رودخانه در نواحی پست مطالعه موردی: رودخانه حله"، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرکرد: دانشگاه شهرکرد
- ۳ شفيعی فر، مهدی و حسینی، شهاب الدین (۱۳۷۹). "بررسی هیدرولیک جریان و موج در تنگه خوران"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس بین المللی سواحل، بنادر و سازه های دریایی، ایران، بندرعباس: مجتمع بندری شهید رجایی.
- ۴ کرمی خانیکي، علی، دهقانی، مرتضی و غریب رضا، محمدرضا (۱۳۸۴). "بررسی کارایی نرم افزار MIKE21 در مدلسازی جریان های جزر و مدی مصب رودخانه ها (مطالعه موردی دهانه رودخانه زهره)"، مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، کرمان: دانشگاه شهید باهنر.
- 5- Aureli F., Mignosa P. (2001). "Comparison between experimental and numerical results of 2D flows due to levee-breaking." Proceedings of XXIX IAHR Congress. No.252, Beijing: China.
- 6- Aureli F., Mignosa P. (2004). "Flooding scenarios due to levee breaking in the Po River." Proceedings of the Institution of Civil Engineers. No.13274, pp. 3-12.
- 7- Baghlani, A. Talebbeydokhti, N. Abedini, M.J (2008), "A shock-capturing model based on flux-vector splitting method in boundary-fitted curvilinear coordinates", Journal of Applied Mathematical Modeling. Vol. 32, pp. 249-266.
- 8- Caselles, V. Donat, R. Haro, G. (2009), "Flux-gradient and source-term balancing for certain high resolution shock-capturing schemes", Journal of Computers and Fluids. Vol. 38, pp. 16-36.
- 9- Chaudhry M. H. (1993). "Open Channel Flow." Prentice-Hall Inc., New Jersey, pp.483
- 10- Danish Hydraulic Institute (2000). "MIKE 21 flow model, Hydrodynamic module, scientific documentation." Denmark.
- 11- Harms M., Briechle S., Kongeter J., Schwanenberg D. (2004). "Dike-break induced flow: validation of numerical simulations and case study." Proceedings of the 2th International Conference on Fluvial Hydraulics. Napoli:Italy.
- 12- Hosseinipour Z. (1983). "A comparative Two-Dimensional Mathematical Modeling of Free Surface Flows with special Application to Wide Rivers." Thesis in Partial Fulfillment of the Requirements for Ph.D., Dept. of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.
- 13- Hosseinipour E. Z., Amein M. (1984). "Finite Element Computation of Two-Dimensional Unsteady Flow for River Problems." Fifth International Conference in Finite Elements in Water Resources, University of Vermont, Burlington, Vermont, June 1984, pp. 457-466.
- 14- Jansen, R. B. (1998). "Advanced Dam Engineering for Design, Construction and Rehabilitation". New York: Van Nostrand Reinhold Inc.
- 15- Kamrath P., Disse M., Hammer M., Kongeter J. (2006). "Assessment of discharge through a levee breach and simulation of flood wave propagation." Journal of Natural Hazards, 38: 63-78.
- 16- Liang D., Falconer R.A., Binliang L. (2006). "Comparison between TVD-MacCormack and ADI-type solvers of the shallow water equations." Journal of Advances in Water Resources, 29: 1833-1845
- 17- Liang Q., Borthwick A.G.L., Stelling G. (2004). "Simulation of dam- and dyke-break hydrodynamics on dynamically adaptive quadtree grids." International Journal for Numerical Methods in Fluids, 46: 127-162.
- 18- McCown A. D., Rasmussen E., Berg P. (2001). "Improving the Performance of a Two-dimensional Hydraulic Model for Floodplain Applications." Conference on Hydraulics in Civil Engineering, The Institution of Engineers, Australia.
- 19- Toro E. F. (2001). "Shock-Capturing Methods for Free-Surface Shallow Flows." New York: John Wiley and Sons, Inc.
- 20- Vorogushyn S., Apel H., Lindenschmidt K.E., Merz B. (2006). "Coupling 1D hydrodynamic, dike breach and inundation models for large-scale flood risk assessment along the Elbe river." Proceedings of the 7th International Conference on Hydroinformatics, France.
- 21- Wardak S. G. (1976). "Implicit Numerical solution of Unsteady Flows in Open Channels and Shallow Water Basins." Ph.D., dissertation, Dept. of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh, North Carolina, USA.

- 22- Xin M., Yang P., Yang Q., Xiangwu K., Fuqiang X. (2007). "The characteristics of levee-break flood in different scenarios of the lower Yellow river based on numerical simulations." *Journal of Geographical Sciences*, 17(1): 85–100.
- 23- Ying X., Wang S.S.Y., Khan A.A. (2003). "Numerical simulation of flood inundation due to dam and levee breach." *Proceeding of ASCE World Water & Environmental Resources Congress*. Philadelphia: USA

Two-Dimensional Simulation of Flow around Dike System Fuse Plugs and Routing of the Outflow

Masih Zolghadr¹, M. Reza Hashemi¹, M. Ali Zomorrodian^{1*}

¹Department of Water Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

*mzomorod@shirazu.ac.ir

Application of 2-D hydrodynamic models for simulation of flow around dike fuse plug spillways is inevitable due to complexity of flow in the vicinity and beyond the breach. Because of popularity of MIKE21 in Iranian institutions, this research tries to assess the performance of MIKE21 for this application. First, the performance of MIKE21 in dike breach simulation was assessed using experimental data. After verification of the model results in an experimental case, a case study which was Helleh River near Borazjan, was considered to show the performance of method in a real situations. To specify the initial and boundary conditions, the river reach was initially modeled by 1-D model, HEC-RAS. After comparison of 1-D and 2-D results in prediction of maximum water surface elevation, assuming no dike breach, flow due to fuse plug breaches in several places were studied in different scenarios. Finally, some issues related to propagation of flow on initially dry bed and wetting and drying were discussed. The computational cost of the 2-D model was also much more than 1-D model.

Key words: Fuse plug breaches, 2-D simulation, MIKE21 model, Flood mapping, Dry bed, Helleh River