Environment and Water Engineering ISSN: 2476-3683

محيط زيست و مهندسي آب شانک : ۲٤٧٦-۳٦٨٣

مدلسازی عددی دوبعدی جریان ناشی از شکست سد در حضور موانع

حامد سرورام و مهدی شاهرخی

دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحات ۶۴۹- ۶۲۹

Vol. 7(4), Winter 2021, 629-641

DOI: 10.22034/JEWE.2021.279693.1539



2D Numerical Modeling of Dam Break Flow in the Presence of Obstacles

Sarveram, H. and Shahrokhi, M.

www.jewe.ir

ارجاع به این مقاله:

سرورام، ح. و شاهرخی، م. (۱۴۰۰). مدلسازی عددی دوبعدی جریان ناشی از شکست سد در حضور موانع. محیطزیست و مهندسی آب، دوره ۷، شماره ۴، صفحات: ۶۲۹-۶۴۱.

Citing this paper: Sarveram, H. and Shahrokhi, M. (2021). 2D numerical modeling of dam break flow in the presence of obstacles. Environ. Water Eng., 7(4), 629-641. DOI: 10.22034/JEWE.2021.279693.1539

مقاله پژوهشی

مدلسازی عددی دوبعدی جریان ناشی از شکست سد در حضور موانع

حامد سرورام ۱* و مهدی شاهرخی۲

^۱استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران ^۲استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه غیاثالدین جمشید کاشانی، قزوین، ایران

*نویسنده مسئول: h.sarveram@iauz.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۳/۲۶]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۳/۲]

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۱/۱۷]

چکیدہ

در این پژوهش، مدلی عددی به منظور شبیه سازی جریان ناشی از شکست سد در حضور موانع ارائه شد. مدل پیشنهادی، معادلات آبهای کمعمق متوسط گیری شده در عمق را به روش حجم محدود به شکل ضمنی شبه لاگرانژی تقریب زده و جهت ردیابی خط سیر ذره، روش صریح و چهار گامی با دقت درجه چهار رانگ-کوتا استفاده شد. شرایط مرزی تشعشعی در مرزهای باز اعمال شده و مدل، مرز خشک و تر را به طور خود کار محاسبه نمود. جهت اثبات دقت مدل پیشنهادی، ابتدا حل به دست آمده از این مدل با نتایج حل تحلیلی مسئله شکست سد در مفور موانع ارائه شد. مورد مقایسه قرار گرفت درجه چهار رانگ-کوتا مورد مقای شده و مدل، مرز خشک و تر را به طور خود کار محاسبه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج در انطباق مناسبی با حل تحلیلی بود. سپس نتایج شبیه سازی جریان ناشی از شکست سد مدر حضور یک مانع مربعی و چهار مانع مربعی با نتایج عددی سایر پژوهشگران مقایسه شد. در نهایت نتایج مدل سازی جریان ناشی از شکست مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج در انطباق مناسبی با حل تحلیلی بود. سپس نتایج شبیه سازی جریان ناشی از شکست مد در حضور یک مانع مربعی و چهار مانع مربعی با نتایج عددی سایر پژوهشگران مقایسه شد. در نهایت نتایج مدل بان یازی مران مقایسه شد. در نهایت نتایج مدل سازی جریان شای از شکست مد در حضور یک مانع مربعی و چهار مانع مربعی با نتایج عددی سایر پژوهشگران مقایسه شد. در نهایت نتایج مدل سازی جریان شده مربعی و مربعی قرار گرفت. در همه بررسیها موانع غیرمستغرق و مطابق با جهت جریان نزدیک شونده بودند. نتایج نشان داد که مدل توسعه یانه از دقت قابل قبولی در شبیه سازی جریان گذرا در هندسه های پیچیده برخوردار بوده و به خوبی توانست ارتفاع و سرعت امواج ناشی از واقعه شکست سد را در حضور موانع پیش بینی کند.

واژههای کلیدی: شبهلاگرانژی؛ شکست سد؛ مانع؛ رانگ-کوتا؛ معادلات آبهای کم عمق



۱– مقدمه

جاری شدن سیل در مناطق شهری یک تهدید جدی برای سکنه است؛ بهویژه اگر تمهیدات پیشگیرانهای برای آن اندیشیده نشده باشد. این واقعه تحت شرایطی غیرقابلپیشبینی مثل شکست سد یا یک موجشکن و یا سیل ناشی از یک بارندگی استثنایی میتواند رخ دهد. چنین وقایعی در شهرهای کوچک که در مسیر این سیلهای عظیم قرار میگیرد خسارات بیشتری به بار میآورد؛ زیرا خود شهر که در مسیر حرکت جریان سیل قرارگرفته باعث افزایش سرعت و ارتفاع سیل میشود (Soares and Zech 2008).

ویژگی سیلابهای اینچنینی بهگونهای است که مسیرهای حرکت جریان در نواحی شهری بهجای مسیر حرکت رودخانه به چیدمان ساختمانها و خیابانها وابسته بوده، ازاینرو جریان پیچیدهای را به دنبال خواهد داشت. این موضوع باعث میشود احتمالاً سطح آب بالاتر از حالت بدون حضور شهر میشود احتمالاً سطح آب بالاتر از حالت بدون حضور شهر باشد (Soares and Zech 2008). بنابراین بررسی رفتار جریان ناشی از شکست سد، که میتواند یکی از عوامل جاری شدن سیل باشد، در برخورد با موانع به شناخت این پدیده و همچنین مدیریت آن کمک شایانی خواهد کرد.

Nanía et al. (2004) مطالعه ي آزمايشگاهي جريان فوق بحرانی را برای پیشبینی یکبعدی روابط جریان در تقاطع خيابان ها ارائه كردند. مطالعات مشابهی توسط (2002) و Rivière and Perkins (2004) و Shabayek et al. انجام شده است. پخش سیل در خیابان ها و شبکه مترو برای یک ناحیه شهری نیز توسط (2003) Ishigaki et al. موردمطالعه قرارگرفته است. (Soares and Zech (2007) دادههایی را بهمنظور بررسی تأثیر یک ساختمان منفرد در مسیر امواج ناشی از شکست سد ارائه کردند. نتایج نشان داد که پس از فشردگی شدید موج در برخورد با مانع، جریان مجبور به تغییر جهت بهمنظور عبور از مانع می شود. این موضوع باعث تشکیل پرشهای هیدرولیکی شده و درنتیجه سطح آب ممكن است بهطور موضعی نسبت به حالت بدون مانع بالا آید. (Soares and Zech (2007) در ادامه کار قبلی خود به مطالعه برخورد جریانهای متغیر سریع غیر ماندگار مانند جریان ناشی از شکست سد در برخورد با یک شهر ایدهآل جهت بررسی تأثیرات عمق جریان و سرعت بر چنین شهرهایی پرداختند. در این مطالعه توانایی مدل عددی حجم محدودی در ایجاد جریان متغیر سریع در تقابل با موانع نیز

بررسی شد. نتایج نشان داد که شبکهبندی با حدود ۱۰ سلول در عرض خیابان نمایش دقیقی از ساختار امواج پیچیده دوبعدی را نشان میدهد. اما برای متوسط تراز سطح آب، شبکههای درشتتر نیز نتایج خوبی ارائه میکند. (2009) از یک حل کننده عددی جریان دوبعدی Erpicum et al. برای محاسبه جریان ناشی از شکست سد بر روی یک توپوگرافی واقعی بهمنظور انجام مدلسازی عددی باملاحظهی فشردگی امواج منتشرشده در ساختمانها استفاده كردند. نتايج نشان داد كه باوجود سختى ارزيابي معیارهای دقیق شکست، ریزش ساختمانها تأثیر زیادی بر انتشار امواج ناشی از شکست سد خواهد گذاشت. (2018) Issakhov et al. اثرات آب بر موانع در جریان شکست سد را بهصورت عددی بررسی کردند. روش عددی مبتنی بر معادلات ناویر - استوکس بوده و از الگوریتم PISO¹ جهت حل استفاده شد. حركت سطح آب نيز با استفاده از روش VOF به دست آمد. همچنین مقایسه نتایج شبیهسازی با دادههای تجربی برای مدلهای مختلف آشفتگی، بهمنظور تعیین بهترین مدل، انجام شد. درنهایت، اشکال مختلف موانع بررسی شد. (Di Cristo et al. (2020) با استفاده از مدل مورفودینامیکی آبهای کمعمق دوفازی^۲ به بررسی عددی انتشار امواج ناشی از شکست سد در یک پهنه سیل فرسایش پذیر در برخورد با یک مانع صلب پرداختند. نتایج حاکی از تأثيرات وجود مانع بر تغييرات توپوگرافی بستر داشت. Issakhov and Zhandaulet (2021) تأثيرات آب بر روى موانع جریان شکست سد برای زوایای مختلف صفحات شیبدار بررسی کردند. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با مدلهای عددی و آزمایشگاهی سایر پژوهشگران نیز رضایت بخش بود. نتایج نشان داد که توزیع فشار بر روی دیوار تحت زاویهی شیب [°]۱۵ تقریباً دو برابر بیشتر از بدون شیب است. سیس برای کاهش مقدار فشار امواج از شکل جدیدی از مانع استفاده شد که حداکثر مقدار فشار روی دیواره سد را بیش از سه برابر کاهش میدهد. (2021) Xu et al. جریانهای سهبعدی شکست سد در برابر اشکال مختلف مانع را با استفاده از روش SPH³ بهصورت عددی

شبیهسازی کرده و پس از اعتبار سنجی، روش پیشنهادی



¹Pressure-Implicit with Splitting of Operators

²two-phase shallow water morphodynamical

³ Smoothed Particle Hydrodynamics

خود را به جریانهای سهبعدی شکسته سد در برابر اشکال مختلف مانع تعمیم دادند. در نهایت مانع قوسی مشخصی را بهعنوان شکل بهینه جهت کاهش نیروی برخورد جریان شکست سد معرفی کرده که حداکثر فشار روی سطح آن کمتر از مانع تیزگوشه بود. (2021) Di Cristo et al. ۲۰۶۰ کمتر از مانع تیزگوشه بود. (2021) Di Cristo et al. با استفاده از تقریب آب کمعمق، نیروهای ناشی از برخورد موج ناشی از شکست سد به یک مانع در حضور کف فرسایش پذیر را بررسی کرده و دو مدل متفاوت انتقال رسوب را مورد مقایسه قرار دادند. نتایج دو مدل حاکی از اختلاف ۲۶٪ پیش بینی نیرو بوده که این تفاوتها را میتوان اساساً به نقش اینرسی ذرات جامد نسبت داد.

پژوهشهای گستردهای در زمینه برخورد امواج ناشی از شکست سد با موانع انجام گرفته، اما بخش اعظم این پژوهشها آزمایشگاهی است. در پژوهشهای عددی موجود نیز مدلهای پیشنهادی از پیچیدگیهای زیادی برخوردار بوده و هزینه محاسباتی بالایی دارند. ازاینرو هدف از این پژوهش ارائه یک مدل عددی ساده و کارآمد با از استفاده از نظم شبکهبندی روش اولری و پایداری روش لاگرانژی در شبیه سازی و بررسی رفتار جریان پیچیده شکست سد در برخورد با موانع است.

۲- مواد و روشکار

۲-۱- معادلات حاکم

معادلات حاکم در این مدلسازی عددی، معادلات آبهای کمعمق متوسط گیریشده در عمق بوده، که با فرض هیدروستاتیکی بودن فشار، کوچک بودن عمق نسبت به عرض جریان از معادلات کلی ناویر استوکس^۱ به دست میآید و شامل دو رابطه مومنتوم (۱) و (۲) و رابطه پیوستگی (۳) است (Street et al. 1996):

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} = -g \frac{\partial \eta}{\partial x} - g \frac{n^2 \sqrt{U^2 + V^2}}{H^{4/3}} U \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial y} + U \frac{\partial V}{\partial x} = -g \frac{\partial \eta}{\partial y} - g \frac{n^2 \sqrt{U^2 + V^2}}{H^{4/3}} V \quad (7)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0 \tag{(7)}$$

Environment and Water Engineering

Vol. 7, No. 4, 2021

² Divergence

که، U و V سرعتهای انتگرال گیری شده در عمق جریان در راستای x و v منینگ و آن چنان که در شکل (۱) نشان دادهشده، $h = \eta + h$ بوده که H عمق کلی جریان، h عمق توسعهنیافته و η ارتفاع سطح آزاد جریان است.



شکل ۱- جانمایی حجم محدود و موقعیت شماتیک مؤلفههای جریان

Fig. 1 Finite volume layout and schematic position of flow components

۲-۲- مدل عددی

در این پژوهش از ترکیب حجم محدود با روش ضمنی و شبهلاگرانژی برای حل عددی معادلات آبهای کمعمق استفادهشده است. آنگونه که در شکل (۱) قابلمشاهده است از شبکهبندی مستطیلی استفادهشده، بهگونهای که ارتفاع سطح آزاد (η) در مرکز حجم سلول، عمق کلی جریان و عمق توسعهنیافته (H و h) و مؤلفههای سرعت (U و V) در وسط وجوه جانبی سلول تعریفشدهاند.

ترکیب حل ضمنی سطح آزاد جریان و گسسته سازی شبهلاگرانژی باعث افزایش پایداری حلشده است. در این مدل ارتفاع سطح آزاد جریان در روابط مومنتوم (۱) و (۲) و واگرایی^۲ سرعت در رابطه پیوستگی (۳) بهصورت ضمنی عمل میکنند. درحالیکه ترمهای جابجایی در روابط مومنتوم بهصورت صریح گسسته سازی میشوند.

۲-۲-۱- گسسته سازی ضمنی و شبه لاگرانژی با توجه به مستطیل بودن سلولهای شبکهبندی، رابطه پیوستگی (۳) به صورت رابطه (۴) گسسته سازی می شود. زیرنویس های i و j بیان کننده موقعیت مکانی، N و N+1



محیطزیست و مهندسی آب دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

¹ Navier–Stokes

Environment and Water Engineering

بیان کننده سطوح زمانی،
$$\Delta x$$
 و Δy گام مکانی در راستای x و y و t Δ گام زمانی است.
 $\eta_{i,j}^{N+1} = \eta_{i,j}^N - \frac{\Delta t}{\Delta x} \left(H_{i+\frac{1}{2}j}^N U_{i+1/2,j}^{N+1} - H_{i-1/2,j}^N U_{i-1/2,j}^{N+1} U_{i-1/2,j}^{N+1} - H_{i,j+1/2}^N U_{i,j+1/2}^{N+1} - H_{i,j-1/2}^N U_{i,j-1/2}^{N+1} \right)$ (۴)
با توجه به بردارهای سرعت که در وجوه حجم سلول
تعریف شده است. گسسته سازی روابط (۱) و (۲) مومنتوم
به صورت رابطه های (۵ و ۶) ارائه می شود.

$$U_{i+1/2,j}^{N+1} = U_{SL_{bicubic}}^{N} - \frac{g\Delta t}{\Delta x} \left(\eta_{i+1,j}^{N+1} - \eta_{i,j}^{N+1} \right) - g\Delta t \frac{n_{i,j}^2 \left[\left(U_{i+1/2,j}^N \right)^2 + \left(V_{i+1/2,j}^N \right)^2 \right]^{0.5}}{\left(H_{i+1/2,j}^N \right)^{4/3}} U_{i+1/2,j}^{N+1}$$
 (Δ)

$$V_{i,j+1/2}^{N+1} = V_{SL_{bicubic}}^{N} - \frac{g\Delta t}{\Delta y} \left(\eta_{i,j+1}^{N+1} - \eta_{i,j}^{N+1} \right) - g\Delta t \frac{n_{i,j}^2 \left[\left(U_{i,j+1/2}^N \right)^2 + \left(V_{i,j+1/2}^N \right)^2 \right]^{0.5}}{\left(H_{i,j+1/2}^N \right)^{4/3}} V_{i,j+1/2}^{N+1}$$
(8)

که، زیرنویسهای sL_{bicubic} بیانکننده استفاده از درونیابی دوسویه درجه سه شبکهبندی اولری، بهمنظور تعیین مقادیر سرعت در نقاط شروع حرکت ذره، است.

۲-۲-۲ دنبال کردن خط سیر ذره

در این پژوهش روش Runge-Kutta برای دنبال کردن خط سیر ذره سیال اعمال شده است. این روش یک تعداد گام زمانی جزئی را برای دنبال کرد خط سیر ذره از موقعیت اولیه ذره در مرکز وجوه حجم سلول استفاده میکنند. روش صریح و چهار گامی با دقت درجه چهار Runge-Kutta، که در روابط (۷) و (۸) نشان دادهشده است، بهطور وسیعی برای ردیابی خط سیر ذره مورداستفاده قرار می گیرد Zheng and) Bennett 1995). در این روش گام زمانی جزئی،r، با

$$\begin{aligned} x_{s-1} &= x_s - \frac{\tau}{6} \Big(U_{x_s, y_s}^{N_b} + 2U_{x_{sp1}, y_{sp1}}^{N_b} + 2U_{x_{sp2}, y_{sp2}}^{N_b} + U_{x_{sp3}, y_{sp3}}^{N_b} \Big) \\ x_{sp1} &= x_s - U_{x_s, y_s}^{N_b} \frac{\tau}{2} \qquad x_{sp2} = x_s - U_{x_{sp1}, y_{sp1}}^{N_b} \frac{\tau}{2} \qquad x_{sp1} = x_s - U_{x_{sp2}, y_{sp2}}^{N_b} \tau \end{aligned}$$
(Y)

$$y_{s-1} = y_s - \frac{\tau}{6} \left(V_{x_s, y_s}^{N_b} + 2V_{x_{sp1}, y_{sp1}}^{N_b} + 2V_{x_{sp2}, y_{sp2}}^{N_b} + V_{x_{sp3}, y_{sp3}}^{N_b} \right)$$

$$y_{sp1} = y_s - V_{x_s, y_s}^{N_b} \frac{\tau}{2} \qquad y_{sp2} = y_s - V_{x_{sp1}, y_{sp1}}^{N_b} \frac{\tau}{2} \qquad y_{sp1} = y_s - V_{x_{sp2}, y_{sp2}}^{N_b} \tau$$

$$(A)$$

$$s=M,M-1,M-2,\ldots,2,1$$

 $\tau \le \min\left[\frac{\Delta x}{\max_{i,j}|U|}, \frac{\Delta y}{\max_{i,j}|V|}\right]$ راست، سیستم معادلاتی برای ارتفاع سطح آزاد به دست میآید که پنج قطری بوده و با روش گرادیان توأم پیش شرطی شده اقابل حل است. به منظور اطلاع از جزئیات روش گرادیان توأم پیششرطی شده میتوان به کتاب مراجع کرد. Barret and Berry (1994)

استفاده از رابطه (۹) که منطبق با معیار عدد کورانت، CFL،

است، محاسبه می شود. روش چهار گامی در روابط (۷) و (۸)

موقعیت ذره را در انتهای هر گام زمانی مشخص میکند.

هركدام از مقادير سرعت در اين روابط با درونيابي دوسويه

درجهیک از شبکهبندی اولری استفاده شده در مدل، به دست

میآید. همچنین زیرنویس b در سطوح زمانی (N) درونیابی

دوسویه درجهیک را مشخص میکند. بعد از گامهای زمانی

جزئی M، خط سیر ذره برای یافتن نقطه شروع حرکت به

سمت عقب دنبال می شود. در هر گام زمانی جزئی ذره بیش-

تر از یک حجم محاسباتی دور نمی شود زیرا محدودیت عدد

کورانت در رابطه (۹) اعمال شده است.

رابطه (۴) دارای سه مجهول V_{N+1} ، U_{N+1} و η_{N+1} است. ازاینرو با جایگذاری U_{N+1} و V_{N+1} بهترتیب از رابطههای (۵) و (۶) در رابطه (۴) تنها مجهول باقیمانده η_{N+1} خواهد بود. با مرتب کردن مجهولات، پارامترهای با بالانویس N+1، در طرف چپ و معلومات، پارامترهای با بالانویس N، در طرف



(٩)

۲-۲-۳ روش حل و شرایط مرزی

¹preconditioned conjugate gradient

 $(1 \cdot)$

(11)

مناسب مرز تر و خشک در شبکهبندی اولری است. با

گرفتهشده است، عمق کل آب (H) در سرتاسر ناحیه

به ارتفاع آزاد جريان، η، اعمال می شود. نحوه عملکرد

٫وش، محاسبه سـرعت انتشـار، C، از نقـاطی از شـبکه کـه مـرز را احاطــه كردهانــد بـا اســتفاده از تفاضـل محـدود

۶۳۳

 η_{Bnd}^{N+1}

محاسباتی با رابطههای (۱۰) و (۱۱) در هر گام زمانی یکــی از مزایــای روش ارائهشــده در ایــن پــژوهش رفتــار جدید بهدست میآید. درواقع با استفاده از این روش مرز خشک و تر به طور خودکار محاسبه می شود. توجه بـه جانمـایی کـه بـرای h، و H در شـکل (۱) در نظـر U^{N+1} -may(0)h $m^{N+1}h$ η_{i+1}^{N+1}

$$H_{i+1/2,j} = \max(0, h_{i+1/2,j} - \eta_{i,j}, h_{i+1/2,j} - \eta_{i+1,j})$$

$$H_{i,j+1/2}^{N+1} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$(11)$$

$$(11)$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$(11)$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$(11)$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$(11)$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$(11)$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1}, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1}, h_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1}, h_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2} - \eta_{i,j+1/2}^{N+1}, h_{i,j+1/2}^{N+1})$$

$$e_{i,j+1/2} = \max(0, h_{i,j+1/2}^{N+1}, h_{i,j+1/2$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + C \frac{\partial \eta}{\partial n} = 0 \tag{11}$$

$$C = \frac{\left[\eta_{Bnd-1/2,j}^{N} - \eta_{Bnd-1/2,j}^{N-2}\right]}{\left[\eta_{Bnd-1/2,j}^{N} + \eta_{Bnd-1/2,j}^{N-2} - \eta_{Bnd-3/2,j}^{N}\right]} \frac{\Delta x}{2\Delta t} \quad (1\%)$$

جدید،N+1، را نشان میدهد.

ابتدا نتايج مدل ارائهشده با نتايج تحليلي شكست سد ايدهآل در یک کانال مستطیلی بدون شیب و اصطکاک به طول m ۱۰۰ موردبررسی قرار گرفت. در این حالت سد در وسط کانال قرار گرفته و بهعنوان شرایط اولیه، عمق آب در بالادست و پاییندست سد بهترتیب ۱ و ۰/۰۲ بوده و سرعت جریان در کل ناحیه محاسباتی صفر است. شکل (۳) منحنی عمق جریان (h) و دبی در واحد عرض (q) در طول کانال، s ، ۱۰ پس از شکست سد را نشان میدهد. در این $\Delta t = \cdot/1 \ s$ فرانی $\Delta x = 1 \ m$ و گام زمانی $\Delta t = \cdot/1 \ s$ در نظر گرفته شده است. از منحنیهای شکل (۳) بهوضوح می توان مشاهده کرد که نتایج به دست آمده از مدل عددی، سرعت و ارتفاع موج ناشی از شکست سد را منطبق با نتایج تحليلي (Stoker (1957 به خوبي شبيه سازي كرده است.

۳-۱-۲ شکست در حضور یک مانع مربعی

مطابق مدل عددی (Liang (2012) یک ناحیه محاسباتی مسطح با ابعاد m ۲۰۰×۲۰۰ در نظر گرفته شده که سدی در فاصله m ۸۰ از مرز غربی ناحیه محاسباتی قرار گرفته و ارتفاع آب در بالادست و پاییندست سد به ترتیب ۱۰ و m است. یک مانع مربعی شکل به اضلاع m ۲۰ نیز در وسط ناحیه محاسباتی قرار دارد. ابعاد سلولهای محاسباتی N m







Fig. 2 Staggered grid system near outflow boundary of computational domain

۳- یافتهها و بحث

در اين بخش بهمنظور صحت سنجي مدل پیشــنهادی نتـایج مــدل بـا دادههـای عـددی و آزمایشــگاهی سـایر پژوهشــگران مقایســه میشــود و همزمـان رفتـار جریـان ناشـی از شکسـت سـد در برخورد با موانع نیز تشریح خواهد شد.



در نظر گرفته شده و منطبق با مدل عددی Liang از اصطکاک بستر صرفنظر شده است. imes



شکل ۳- حل عددی و تحلیلی مسئله شکست سد پس از ۱۰ s Fig. 3 The numerical and analytical solutions of dam break problem after t=10 sec

رد کـردن مـانع، مـوج ناشـی از شکسـت سـد در جهـت پاییندسـت بـه حرکـت خـود ادامـه داده، ایـن در حـالی اسـت کـه مـوج انبسـاطی رونـد حرکتـی خـود بـه سـمت بیـرون را حفـظ میکنـد. همان گونـه کــه در اشــکال (۴-ج) و (۴-د) نشــان دادهشــده است، الگوهـای جریـان بـا مقیـاس کوچـکتر نیـز در اثـر تقابـل پیچیـده مـوج بـا مـوج و مـوج بـا مـانع در دنبالــه توسـعه مییابـد. در شـکل (۴) نتـایج مـدل عـددی ارائهشـده انطبـاق خـوبی را بـا نتـایج مـدل عددی (2012) Liang از خود نشان میدهد.

۳-۱-۳- در حضور چهار مانع مربعی

Liu et al. (2010) از مدل شبکه بولتزمن^۳ برای شبیه سازی امواج ناشی از شکست سد در حضور چهار مانع مربعی استفاده نمودهاند. در این شبیه سازی همان گونه که در شکل (۵) مشاهده می شود، شیب کف در بالادست سد صفر و در پایین دست آن ۰/۰۲ می باشد. عمق آب نیز در شرایط اولیه در بالادست و پایین دست سد بهتر تیب ۱۰ و ۲ ۵ بوده و شرایط مرزی مشابه مدل قبلی در نظر گرفته شده است.

³Lattice Boltzmann

Environment and Water Engineering

خط_وط ش_مارگر ه_م عم_ق ب_همنظور ارائ_ه نح_وه انتشـار امـواج در زمـان بـرای زمانهـای ۲، ۴، ۶ و s ۸ پـــس از شکســـت ناگهــانی ســد در شــکل (۴) ا, ائهشــده اســت. همانگونــه کــه در شــکل مشــهود است، جریان ناشی از شکست سد پس از برخورد با مانع مربعی شکل، یک موج انبساطی دایے ہای را تشکیل داده که بلافاصیله توسیعهیافته و به بیـرون منتشـر میشـود. خطـوط شــمارگر هــم عمــق در شــکل (۴-الـف) نشـان میدهـد کـه دو سیسـتم مــوج یکــی ناشــی از شکســت ســد و دیگــری مــوج انبساطی در اثر برخرورد به مانع مربعی تشکیل مى شود. جريان كاملاً متقارن بوده و نقاط تلاقى این دو منوج در طنول سنطح منابع حرکت می کنند. شکل (۴-ب) نیرز نشران میدهد که موجها در نقطـــه ایســـتایی^۱ دنبالـــه^۲ در پســت مــانع بـــه هـــم برخــورد میکننــد. حرکــت گردابــه ماننــدی نیــز در چہار گوشیہ ی میانع مربعیے بهوضوح مشیاهدہ شیدہ و یک دنبالیه پشت مانع توسعهیافته است. بعد از

¹stagnation point ²wake





Fig 4. Depth counter of dam break flow in the presence of a square obstacle, obtained from the proposed model and Liang's (2012) numerical model: a) 2 s, b) 4 s, c) 6 s, and d) 8 s after dam break

Environment and Water Engineering

۶۳۵



شکل ۵- ناحیه محاسباتی و شرایط اولیه برای مدلسازی جریان ناشی از شکست سد در حضور چهار مانع مربعی .(Liu et al) 2010

Fig. 5 Computational domain and initial conditions for dam break modeling flow in the presence of four square obstacles (Liu et al. 2010)

به منظور مقایسه، نتایج حاصل از مدل شبکه بولتزمن Liu et به منظور مقایسه، نتایج مدل پیشنهادی در شکل (۶) ارائه شده (2010) ام با نتایج مدل پیشنهادی در شکل (۶) ارائه شده است. در این شکل خطوط شمار گر عمق جریان و بردارهای سرعت متوسط گیری شده در عمق برای چهار زمان ۵/۶ م/۸، ۵/۸ و ۲۵/۵ پس از شکست سد ارائه شده است. همان گونه که در شکل مشاهده می شود مدل به خوبی انتقال موج به بالادست و موج پیش رونده به پایین دست و انعکاس موج به بالادست و موج پیش رونده به پایین دست و انعکاس سرعت پیشانی موج و ارتفاع جریان پیش بینی شده توسط دو را می توان در گردابه های تشکیل شده در موقعیت سد مشاهده کرد که در مدل پیشنهادی با سرعت و قدرت بیش-تری تشکیل شده است. به نظر نویسندگان این اختلاف ناشی از تفاوت در شرایط مرزی دیوار در مدل پیشنهادی و مدل سرعی می از تفاوت دو مدل



شکل ۶ – شبیهسازی جریان ناشی از شکست سد در حضور چهار مانع مربعی مدل عددی (2010) Liu et al. (سمت چپ) و مدل پیشنهادی (سمت راست): الف) ۶/۸۶، ب) s (۸/۵ ج) s ۸/۵ و د) s /۵ پس از شکست سد

Fig. 6 Simulation of dam break flow in the presence of four-square obstacles obtained from the proposed model (right side) and Liu et al.'s (2010) numerical model (left side): a) 6.5 s, b) 7.5 s, c) 8.5 s, and d) 9.5 s after dam break

در آزمایش، ساختمانهای هماندازه بهصورت ستونی و ردیفی بهطور کاملاً منظم کنار یکدیگر قرار گرفتهاند (شهر ایدهآل) و هدف مدل کوچکشده یک ناحیه واقعی نیست. بااینوجود، نسبت بین عرض ساختمان به خیابان نزدیک به دیده هوایی شهر بروکسل بلژیک است. همچنین در آزمایشها ارتفاع ۳–۱–۳– در حضور یک شهر ایده آل مطابق آزمایشهای (Soares and Zech (2008)، طول کانال آزمایشگاهی ۳۶ ۳ و عرض آن ۳۶/۳ با بستر افقی بوده و سطح مقطع پایاب آن، مطابق شکل (۷)، ذوزنقهای است. یک دریچه بین دو بلوک جانبی غیرقابل نفوذ بهمنظور شبیه سازی شکست قرار گرفته است. سطح آب اولیه مخزن شبیه سازی شکست دریچه نیز لایه یناز کی از آب به ضخامت ۳ /۰۱۱ قرار دارد. ضریب زبری مانینگ برای

ساختمانها بهاندازه کافی بلند است که جریان از روی آنها عبور نمی *ک*ند.

مطابق شکل (۷)، حالت موردبررسی آزمایشهای Soares مطابق شکل (۷)، حالت موردبررسی آزمایشهای Soares (2008) هبوده که چیدمانشان منطبق با جهت جریان ناشی از شکست سد میباشد. ساختمانها توسط بلوکهای چوبی m ۲/۰ × ۲/۰ با فواصل m ۲/۱ بهعنوان خیابان شبیهسازیشده است. جهت مدلسازی ابعاد شبکه m ۲/۰۲۵ × ۲/۰۲۵ در نظر گرفتهشده و با توجه به پایداری بالای مدل عددی در انتخاب گام زمانی محدودیتی وجود نداشته و ملاک انتخاب، آنالیز حساسیت دقت مدل عددی به گام زمانی بوده است. بررسیهای انجامشده نشان داد که انتخاب گام زمانی 3 مدل تحمیل نمیکند.



تلكل ٧- ابعاد كان ازمايشكاهی (2008) soares and Zech (2008). برحسب m: الف) ديد از بالا و ب) سطح مقطع كانال Fig 7. Experimental channel dimensions (m) (Soares and Zech 2008): a) Plane view and b) Crosssection

نتایج شبیه سازی های عمق و سرعت جریان مدل پیشنهادی در خیابان طولی در موقعیت y = ۰/۶ m در چهار زمان ۴، ۵، ۶ و ۱۰ ۹ با مدل عددی و آزمایشگاهی Soares and Zech (2008) در شکل (۸) مقایسه شده است.

Soares and Zech (2008) جهت آنالیز حساسیت مدل به ابعاد شبکه، نتایج شبکه درشت (خطچین) و شبکه ریز (خط ممتد) در اشکال فوقالذکر ارائه کرده است. در مدل پیشنهادی نیز با توجه به ابعاد شبکه ($\Delta x = \Delta y = -1/5$ m) تقریباً معادل و قابلمقایسه با نتایج مدل درشتتر خواهد بود. همانگونه که در شکل (Λ) قابلمشاهده است؛ خواهد بود. همانگونه که در شکل (Λ) قابلمشاهده است؛ شبیهسازی مدل پیشنهادی انطباق خوبی با نتایج مدل عددی (2008) Soares and Zech این در حالی است که راندمان مدل پیشنهادی به مراتب از مدل محققین مذکور

بالاتر است به گونهای که ابعاد شبکه به کاررفته در مدل شبکه ریزودرشت (Soares and Zech (2008) بهترتیب ۱۰ و ۲۰ سلول را در هر خیابان در برمی گیرد این در حالی است که در مدل پیشنهادی تنها ۵ سلول در هر خیابان در نظر گرفتهشده است.

از آنجایی که حس گرهای اندازه گیر سرعت در آزمایش ها سرعت سطح آب را ثبت کرده اما مدل های عددی سرعت متوسط اندازه گیری شده در عمق را ارائه می کنند؛ نتایج مدل عددی مقادیری بیش از مقادیر آزمایشگاهی پیش بینی کرده عددی مقادیری بیش از مقادیر آزمایشگاهی پیش بینی کرده و این اختلاف در شبکه ریز تر مدل Soares and Zech (2008) بیش تر است. البته نباید از خطاهای اندازه گیری در جریانهای متغیر سریع به خصوص در مورد اندازه گیری سرعت غافل شد. همچنین عدم برقراری فرضیات هیدروستاتیکی فشار و ناچیز در نظر گرفتن جریانهای رو به پایین در معادلات حاکم آبهای کم عمق به ویژه در زمانهای پایین در معادلات حاکم آبهای کم عمق به ویژه در زمانهای است که بیش ترین عدم انطباق بین نتایج مدل های عددی و داده های آزمایشگاهی در زمان ۴ s پس از شکست مشاهده می شود.

در اشکال پروفیل سرعت در زمانهای ۶ ۶ و ۱۰ پس از شکست سد، بیشترین اختلاف بین شبیهسازیهای عددی و آزمایشگاهی در ورودی خیابان مشاهده میشود که یک تورفتگی در پنجه پرش هیدرولیکی اتفاق میافتد. این پرش هم در مدل عددی شبکه ریز (2008) Soares and Zech و هم در مدل پیشنهادی قابل روئیت بوده و در آزمایشها نیز مشاهدهشده و توسط گیجهای اندازه گیری عمق نیز ثبتشده



سطحی ثبتشده در آزمایشگاه در بالادست پرش هیدرولیکی منعکس کننده سرعت متوسط گیری شده در عمق جریان بهدستآمده از مدلهای عددی نباشد.

است. اما بهطور غیرمترقبهای سرعت اندازهگیری شده تغییری را در این تورفتگی نشان نمیدهد. طبق بیان Soares and Zech (2008) گمان میرود که دادههای



شکل ۸- پروفیلهای سطح آب (سمت راست) و سرعت جریان آب (سمت چپ) در خط طولی خیابان قرارگرفته در y = ۰/۲ m که (●) نشاندهنده اندازه گیریهای آزمایشگاهی، خطچین و خط ممتد به ترتیب نتایج مدل عددی (Soares and Zech (2008) با شبکه درشت و ریز بوده و خط خاکستریرنگ نتایج مدل پیشنهادی: الب) s ۶، ب) s ۵، ج) s ۶، و د) s ۱۰ پس از شکست سد

Fig. 8 Water-surface (right side) and velocity (left side) profiles along the central longitudinal street located at y = 0.2m; Experimental (•), Soares and Zech's (2008) numerical results (dotted and continuous black lines) and proposed model results (gray line): a) 4 s, b) 5 s, c) 6 s, and d) 10 s after dam break

چرخشهای جریان و حرکات عرضی بهدستآمده از مدل پیشنهادی به مقادیر عددی و آزمایشگاهی Soares and (2008) Zech کنودیک است. اما باوجوداینکه در آزمایشها بردارهای سرعت به سمت محور خیابان در پاییندست تقاطع بردارهای سرعت به سمت محور خیابان در پاییندست هر دو مدل عددی همچنان در راستای محور خیابان است.

در شکل (۹) مقایسهای بین بردارهای سرعت بهدستآمده از آزمایشها (سرعت سطحی) و نتایج عددی شبکه ریز Soares and Zech (2008) و مدل پیشنهادی نشان دادهشده است. شکل مذکور بردارهای سرعت را در نزدیکی یک تقاطع، ۵ s پس از شکست سد نشان میدهد. می توان مشاهده کرد که مقدار و جهت بردار سرعت شامل



دادەھاى آزمايشگاھى

Fig 9. Comparison of velocity vectors at time t = 5 s:a) Proposed model, b) Numerical model (Soares and Zech, 2008), and c) Experimental data

این تفاوت احتمالاً ناشی از تأثیرات سهبعدی موضعی جریان بوده که در مدل متوسط گیری شده در عمق معادلات حاکم لحاظ نشده است. تنگشدگی ایجادشده توسط ورودی و تقاطعها، بهواسطهی در نظر گرفته نشدن تنشهای آشفتگی جریان، بهخوبی توسط مدلهای عددی شبیهسازی نشده است. درواقع جریان بهدلیل جداشدگی در هر گوشه بلوکها و درنتیجه ناپیوستگیهای سرعت بین جریانها در خیابانهای طولی و عرضی بهشدت غیر دائم و آشفته است.

۴- نتیجهگیری

در این پژوهش با استفاده از ترکیب حجم محدود و روش ضمنی- شبهلاگرانژی مدل عددی بهمنظور حل معادلات دوبعدی آبهای کمعمق جهت شبیهسازی امواج ناشی از شکست سد در حضور موانع ارائه شد. بهمنظور صحت سنجی در گام اول، نتایج مدل پیشنهادی با نتایج تحلیلی شکست ایدهآل سد مورد مقایسه قرار گرفت. سپس نتایج شبیهسازی جریان ناشی از شکست سد در حضور موانع با نتایج آزمایشگاهی و عددی سایر پژوهشگران مقایسه شد. نتایج را می توان در موارد زیر خلاصه کرد:

۱- استفاده از روش ضمنی شبه لاگرانژی پایداری مدل را بالا برده و این موضوع انتخاب گامهای زمانی و مکانی بزرگتر را برای مدل پیشنهادی فراهم کرده و کارایی آن را افزایش میدهد. همچنین تعیین خودکار مرز تر و خشک، مدل را از تعیین شرایط مرزی صلب بینیاز کرده و این قابلیت، کار مدل سازی جریان در حضور موانع را ساده و سریعتر می کند.

۲- علیرغم دوبعدی بودن معادلات حاکم و پیچیدگی جریان شبیهسازیشده، انطباق قابل قبولی بین مدل پیشنهادی و مدلهای عددی سایر پژوهشگران، چه در شبیهسازی امواج ناشی از شکست سد و چه امواج ناشی از برخورد با مانع، مشاهده شد. اما در هر بخشی از جریان که بر ماهیت سهبعدی و آشفتگی جریان افزوده میشد؛ دقت مدل نیز کاهش مییافت.

۳- نتایج مدل پیشنهادی در پروفیل سطح آزاد جریان انطباق خوبی با دادهای آزمایشگاهی داشته اما پروفیل سرعت را اندکی بیش از مقادیر آزمایشگاهی نشان میداد.

دسترسی به دادهها

دادههای استفاده و تولیدشده در این پژوهش در متن مقاله ارائهشده است.

References

- Barrett, R. M. and Berry, T. F. (1994). Templates for the Solution of Linear Systems: Building Blocks for Iterative Methods, SIAM, Philadelphia.
- Di Cristo, C., Greco, M., Iervolino, M. and Vacca, A. (2021). Impact Force of a Geomorphic Dam-Break Wave against an Obstacle: Effects of Sediment Inertia. Water, 13, 232, 1-20. DOI: 10.3390/w13020232.
- Di Cristo, C., Greco, M., Lervolino, M. and Vacca, A. (2020). Interaction of a dam-break wave with an obstacle over an erodible floodplain. J. Hydroinfo., 22(1), 5-19. DOI:10.2166/hydro.2019.014
- Erpicum, S., Archambeau, P., Dewals, B. J., Ernst, J. and Pirotton, M. (2009). Dam-break flow numerical modeling considering structural impacts on buildings. 33rd IAHR Congress: Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver, British Columbia, Canada.
- Ishigaki, T., Toda, K., and Inoue, K. (2003). Hydraulic model tests of inundation in urban area with underground space. Proceedings of the 30th IAHR Congress AUTh, Greece, B, 487–493.
- Issakhov, A. and Zhandaulet, Y. (2021). Numerical study of dam-break fluid flow using volume of fluid (VOF) methods for different angles of inclined planes. Simulation. DOI:10.1177/00375497211008497.
- Issakhov, A., Zhandaulet, Y., and Nogaeva, A. (2018). Numerical simulation of dam break flow for various forms of the obstacle by VOF method. Int. J. Multiphase Flow, 109, 191-206. DOI: 10.1016/j.ijmultiphaseflow.2018.08.003.
- Liang, Q. (2012). A simplified adaptive Cartesian grid system for solving the 2D shallow water equations. Int. J. Numer. Meth. Fluids, 69, 442-458. DOI: 10.1002/fld.2568
- Liu, H., Zhou, J. G. and Burrows, R. (2010). Lattice Boltzmann simulations of the transient shallow water flows. Adv. Water Resour. 33, 387–396. DOI: 10.1016/j.advwatres.2010.01.005

- Nanía, L. S., Gómez, M. and Dolz, J. (2004). Experimental study of the dividing flow in steep street crossings. J. Hydr. Res. 42(4), 406–412. DOI: 10.1080/00221686.2004.9728406
- Orlanski, I. (1976). A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. J. Comput. Phys., 21(3), 251–269. DOI: 10.1016/0021-9991(76)90023-1
- Rivière, N. and Perkins, R. J. (2004). Supercritical flow in channel intersections. In: Proceedings of the River Flow Conference, Greco, M., Carravetta, A., Della Morte, R. (eds), 2, Balkema, Netherlands, 1073–1078.
- Shabayek, S., Steffler, P. and Hicks, F. (2002). Dynamic model for subcritical combining flows in channel junctions. J. Hydr. Eng. 128(9), 821–828. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:9(821)
- Soares-Frazão, S. and Zech, V. (2008). Dambreak flow through an idealised city. J. Hydraul. Res., 46(5), 648–658. DOI: 10.3826/jhr.2008.3164.
- Soares-Frazão, S. and Zech, Y. (2007). Experimental study of dam break flow against an isolated obstacle. J. Hydr. Res. 45(Extra Issue), 27–36. DOI: 10.1080/00221686.2007.9521830
- Stoker, J. J. (1957). Water waves. New York: Interscience Publishers.
- Street, L., Watters, Z. and Vennard, K. (1996). Elementary Fluid Mechanics. John Wiley & Sons, New York, 7th edition.
- Xu, X., Jiang, Y. L. and Yu, P. (2021). SPH simulations of 3D dam-break flow against various forms of the obstacle: Toward an optimal design. Ocean Eng., 229, 108-978. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2021.108978
- Zheng, C., Gordon, D. and Bennett, G. D. (1995). Applied contaminant transport modelling: theory and practice. Van Nostrand Reinhold, New York.



Research Paper

2D Numerical Modeling of Dam Break flow in the Presence of Obstacles

Hamed Sarveram^{1*} and Mehdi Shahrokhi²

¹Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran ²Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Ghiaseddin Jamshid Kashani University, Ghazvin, Iran

*Corresponding author: <u>h.sarveram@iauz.ac.ir</u>

Received: April 06, 2021

Revised: June 13, 2021

Accepted: June 16, 2021

Abstract

In this research, a numerical model was developed to simulate dam break flow in the presence of obstacles. The proposed model approximated the equations of moderately shallow water averaged at the finite volume method by implicit semi-Lagrangian method and the explicit and four-steps Runge-Kutta method with the fourth order accuracy was used to departure point determination. Radiation boundary conditions was applied to open boundaries and the model calculated the wet/dry boundary automatically. To demonstrate the accuracy of the proposed model, first, the solution obtained by this model was compared with analytical solution of dam break problem. Results were in good agreement with analytical solution. Then, the modeling results of dam break flow, in the presence of a square obstacle and four square obstacles, was compared with other researcher numerical model results. Finally, modelling results of dam break flow through an idealized city (a square city layout of 5×5 buildings) were investigated. In each experiment, the obstacles were non submerged and aligned with the approach flow direction. The results showed that the developed model had an acceptable accuracy at transient flow simulation in complex geometries and could appropriately predict the waves height and waves celerity caused by a dam break event in the presence of obstacles.

Keywords: Dam Break; Obstacle; Runge-K; Semi-Lagrangian; Shallow Water Equation

Environment and Water Engineering

Vol. 7, No. 4, 2021

