

Research Paper

Assessment of Efficiency of SRH-2D Model in Hydraulic Analysis of Flow Due to Sudden Dam Break

Rasool Ghobadian*¹,Sajad Nikravesh²,

¹Associate Professor, Department of water engineering, Razi University, Iran Corresponding Author: Rasool Ghobadian Address: Department of Water Eng., Razi University, Kermanshah, Iran, Email: r_ghobadian@razi.ac.ir

²M.Sc. Graduated, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran, snikravesh2011@gmail.com



10.22125/IWE.2023.173238

Received:
November.24.20211
Accepted:
April.09.20222
Available online:
June 25, 2023

Keywords:
SRH-2D model, dam break simulation, shallow water equations, partial and complete dam break.

Abstract

The subject of dam break has always been one of the most important and favorite issues of researchers over the past years. Due to the release of a large volume of water and its flow to the downstream areas, predicting how the flood wave due to partial or complete dam break will be transmitted, from the point of view of financial damage to downstream facilities and casualties due to it is very important. Several one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional numerical methods and computer models have been proposed to solve the hydraulic equations of flow due to dam failure in open channels. One of these computer models is the two-dimensional SRH-2D model, which is based on solving shallow water equations, and its latest version 3.3.1 was developed recently. This study was conducted to investigate the ability of this model to simulate hydraulic flow due to sudden dam break.

For this purpose, the available laboratory data as well as the results of other 2D and 3D models were used. After implementing the model, the results were compared with the measured data and the result of previous numerical models of sudden asymmetric partial dam break on the frictionless bed, partial dam break with the presence of a triangular obstruction in the downstream flow path and also two-dimensional failure of water cylindrical column. In all cases, the present model accurately simulated the flow due to dam failure. In comparison with the dam break measurement data in the presence of triangular obstacles, it was shown that the values of R^2 , RMSE and MAE statistics at simulation times of 1.8, 3, 3.7 and 8.4 seconds after dam break are {0.938, 0.005, 0.004}, {0.78, 0.012, 0.008}, {0.72, 0.016, 0.011} and {0.37, 0.009, 0.007} respectively, which is more accurate compared to other two-dimensional models.

*

1. Introduction

The subject of dam break has been one of the most important issues of interest to researchers over the past years. The phenomenon of dam break, which is defined as the uncontrolled release of the contents of the dam reservoir, can be due to the collapse of all or part of the dam body, immediately or gradually. Among the influential factors in the severity of the dam break catastrophe are the depth and velocity of the released water, so it is necessary to model the flood caused by the break of dam carefully. Two-dimensional models have a higher accuracy compared to one-dimensional models. On the other hand, although two-dimensional models are relatively less accurate than three-dimensional models, but due

to a very sharp reduction in the cost of performing calculations in them compared to three-dimensional models are practically used more. The present study was conducted to evaluate the accuracy and efficiency of the latest version of the SRH-2D numerical model in simulating the dam break phenomenon and also to compare its results with measurement data and the results of other two and three dimensional models.

2. Materials and Methods

In this research, the ability to simulate the flood flow due to dam break has been investigated using the SRH-2D model. SRH-2D software was first developed in 2006 by Yang Ji Lee through the USBR Institute. Several improved versions of this model were released in later years. This study uses the latest version (SRH-2D Version 3.3.1) which is presented in 2020. This model simulates flow and sediment in two-dimensional mode. In this model, the shallow water equations (St.-Venant) have been solved explicitly using the finite volume method. SMS software was used for meshing. Output and graphics results can be seen in software such as TECPLOT, ECXEL, SMS and GIS. For this purpose, in this research, TECPLOT software has been used to observe and evaluate the output results.

3. Results

a) Simulation of partial asymmetric dam break over wet bed without friction

In this section, the asymmetric partial failure of the dam is simulated and compared with the results of the numerical model of Fennema and Chaudhry (1990). The study area includes a rectangular canal 200 meters long and 200 meters wide with a dam in the center of this area. There is an asymmetric gap of 75 meters along the body of the dam. At the beginning of the simulation, the water depth above the dam is 10 meters and immediately below the dam is 5 meters. The walls and bed of the model are considered impermeable, without slope and without hydraulic resistance. Also, the boundary condition around the area was considered as a rigid wall. The time steps for the simulation are assumed by the model to be 0.02 seconds. Figure (1-a) shows the topographic lines of the flow depth at 7.2 seconds after the break of the dam. For comparison, Fennema and Chaudhry (1990) results are also presented in Figure (1-b). As can be seen, the results are close to each other.

b) Dam break flow over a triangular obstacle

In this section, laboratory model measurement data Soares Frazão (2002) at UCL were used. Model specifications and initial water surface conditions are shown in Figure (2). Figure (3) shows a comparison between the results simulated by the SRH-2d model as well as the results of two- and three-dimensional models of Biscarini et al. (2010) with the results of laboratory data by Soares Frazão (2002). The passage of water through a triangular barrier creates complex conditions due to the return waves as a result of the water hitting the barrier in the path as well as the end wall of the canal. Comparing the results shown in the diagram, it is clear that the two-dimensional SRH-2D model was able to simulate the flow through the obstruction well. As shown in Figure (3-a), the SRH-2D model at the beginning of the simulation failed to simulate the negative wave due to the collision with the obstacle. Carefully in the results obtained by Biscarini et al. (2010) it is observed that none of the two-dimensional and three-dimensional models presented could not simulate the initial negative wave caused by the impact of water on the obstacle. In addition, as shown in Figure (3-b), the SRH-2D model was able to simulate the water level well in 3.7 seconds by passing fluid flow through the obstruction and hitting the advancing wave to the end wall of the channel. Which has provided much better results compared to the two and three dimensional models presented by Biscarini et al. (2010).

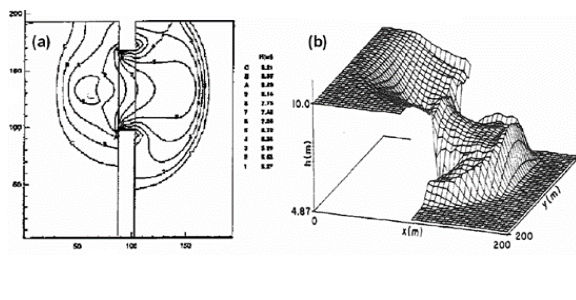
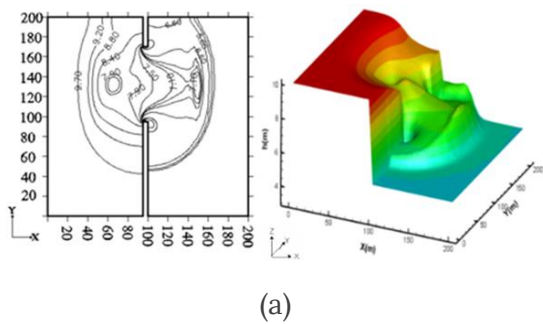


Figure 1. Three-dimensional view and topography lines of water surface calculated a) by SRH-2D model b) by Fennema and Chaudhry (1990) model at $t=7.2$ sec.

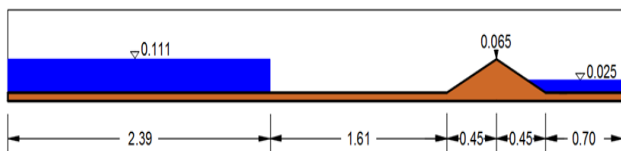
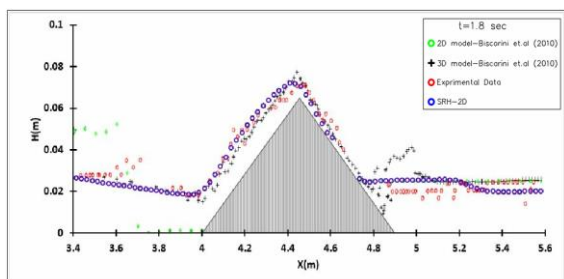
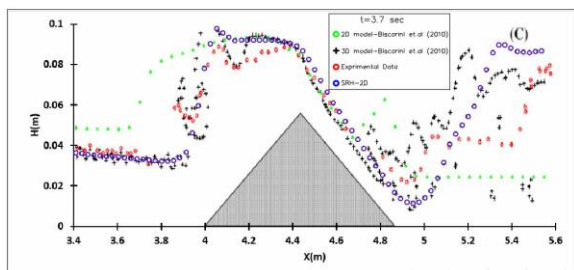


Figure 2. Laboratory model and initial conditions presented by Suarez and Frazao (2002)



(a)



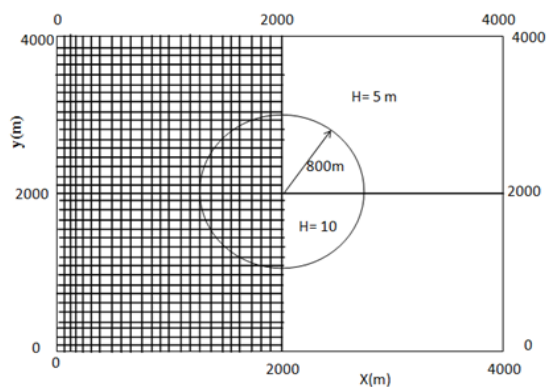
(b)

Figure 3. Comparison of the results of two- and three-dimensional models of Biskarini et al. (2010) and SRH-2D model with measurement data in times a)1.8 seconds and b)3.7 seconds

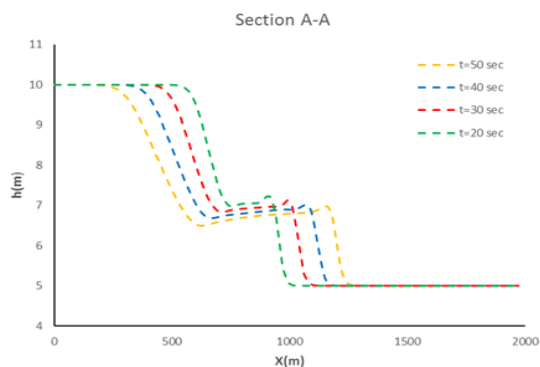
c) Fluid cylindrical column break

In this option, the break of a column of water with a radius of 800 meters, which is located in the center of the reservoir with dimensions of 4000 meters by 4000 meters, has been investigated. The height of the water column is 10 meters and the water depth inside the reservoir is 5 meters (Figure 4-a). The bed is assumed to be frictionless and horizontal.

In order to compare, the water surface profiles calculated by the present model at different times along the horizontal axis passing through the center of the reservoir (Figure 4-b) were compared with the results of previous research. The results showed that the intensity of artificial fluctuations in the water surface profile in the present model is lower compared to the model of Boltzmann Liu et al. Compared to Sarvaram and Shamsai (2012) and Ghobadian (2019) models, artificial fluctuations in flow depth have not been completely eliminated. In some models, by applying the term of artificial viscosity, and in others, like Ghobadian model, by increasing the number of points involved in the calculations and creating more communication between them, these artificial fluctuations in the depth of flow have been eliminated.



(a)



(b)

Figure 4 - Water surface profiles calculated at different times along the horizontal axis passing through the center of the reservoir

4. Discussion and Conclusion

In this research, the ability of SRH-2D model to analyze the failure of concrete dams has been investigated. For validation, three models were examined as follows: a- Simulation of asymmetric partial failure of the dam in the wet bed and without friction b- Simulation of dam break over a triangular obstacle in the downstream flow path c- Break of a cylindrical column of water. From the simulation results by SRH-2D model, it was shown that this model has been able to provide very good agreement

with the measured data and existing models. For example, in calculating water surface profiles in failure of a dam and in the presence of a triangular obstacle, the model was able to estimate the measured data with good accuracy at most of the recorded times. However, at some times, especially at 8.4 seconds and downstream face of the triangular obstacle when the wave returned after hitting the end wall, there was a discrepancy with the measured data, which could be due to the elimination of the vertical effects of gravity acceleration in the two-dimensional models that uses shallow water equations. It is worth mentioning that in other cases studied in this research, SRH-2D model has been competitive and even better in simulating the sudden failure of the dam than the numerical and computer models presented by previous researchers.

5. Six important references

- 1) Biscarini, C., Francesco, S. D., and Manciola, P. 2010. CFD modelling approach for dam break flow studies. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(4), 705-718
- 2) Fennema, R. J. and Chaudhry, M. H. 1990. Explicit methods for two dimensional transient free-surface flows, *JHE*, 116(8), 1013–1034.
- 3) Ghobadian, R. 2019. Application of Lax and Leap-Frog Schemes in Two-Dimensional Modeling of Dam Breaking Using Explicit Finite- Difference Method, *Water and Soil Science*, 29(2), pp. 85-99. (In Persian).
- 4) Lai, Y. G. 2008. SRH-2D version 2: Theory and User's Manual. U.S. Department of the interior. - Bureau of Reclamation, Denver.
- 5) Sarveram, H. and Shamsaee, A. 2012. Two-dimensional modeling of dam break flow with implicit semi-Lagranzh method. *Iran Water Research*, 7(13), pp. 21-30. (In Persian).
- 6) Soares Fraz~ao, S. 2002. Dam-break induced flows in complex topographies. Theoretical, numerical and experimental approaches, PhD Thesis, Louvain-la-Neuve: Universit`a catholique de Louvain, Civil Engineering Department, Hydraulics Division, 116(8).

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

Razi University Vice Chancellor for Research is commended for supporting this research.



بررسی کارایی مدل SRH-2D در تحلیل هیدرولیک جریان ناشی از شکست ناگهانی

سد

رسول قبادیان^۱، سجاد نیکروش^۲

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

مقاله پژوهشی

چکیده

موضوع شکست سد همواره یکی از مسائل بسیار مهم و مورد علاقه محققین در طول سال‌های گذشته بوده است. بدلیل رها شدن حجم بسیار زیاد آب و جاری شدن آن به مناطق پایین دست، پیش بینی چگونگی انتقال موج سیلاب ناشی از شکست جزئی و یا کامل سد، از نقطه نظر خسارات مالی به تاسیسات پایین دست و تلفات جانی ناشی از آن بسیار حائز اهمیت می باشد. برای حل معادلات هیدرولیک جریان ناشی از شکست سد در مجاری روباز، روش‌های عددی و مدل‌های کامپیوتری تک بعدی، دو بعدی و سه بعدی مختلفی تا کنون ارائه شده است. یکی از این مدل‌های کامپیوتری موجود مدل دو بعدی SRH-2D است که بر اساس حل معادلات آب‌های کم عمق می باشد و آخرین نسخه آن سال ۲۰۲۰ توسعه داده شده است. این تحقیق به منظور بررسی توانایی این مدل جهت شبیه سازی هیدرولیک جریان ناشی از شکست ناگهانی سد انجام شده است. بدین منظور داده‌های آزمایشگاهی موجود و همچنین نتایج حاصل از سایر مدل‌های دو بعدی و سه بعدی مورد استفاده قرار گرفت. پس از اجرای مدل نتایج آن با نتایج محققین قبلی یا داده های اندازه گیری برای شبیه سازی شکست جزئی نامتقارن و ناگهانی سد بر روی بستر بدون اصطکاک، شکست جزئی و نامتقارن سد با حضور مانع مثلی در مسیر جریان پایین دست و همچنین مقایسه نتایج ناشی از شکست دوبعدی ستون استوانه ای آب مقایسه شد. در تمام موارد مدل حاضر با دقت مناسب جریان ناشی از شکست سد را شبیه سازی کرد. به گونه‌ای که در مقایسه با داده های اندازه گیری شکست سد در حضور موانع مثلی نشان داده شد که مقدار آماره های R^2 ، RMSE و MAE در زمان های شبیه سازی ۱/۸، ۳، ۳/۷ و ۸/۴ ثانیه بعد از شکست به ترتیب {۰/۹۳۸، ۰/۰۰۵، ۰/۰۰۴}، {۰/۷۸، ۰/۰۱۲، ۰/۰۰۸}، {۰/۷۲، ۰/۰۱۶، ۰/۰۱۱} و {۰/۳۷، ۰/۰۰۹، ۰/۰۰۷} می باشد که در مقایسه با مدل های دو بعدی از دقت مناسب تری بر خوردار است.

واژه‌های کلیدی: مدل SRH-2D، شبیه سازی شکست سد، معادلات آب کم عمق، شکست جزئی و کامل سد.

۱ - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، 09188332489, r_ghobadian@razi.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲ - کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، snikraves2011@gmail.com



مقدمه

موضوع شکست سد از جمله مسائل بسیار مهم و مورد علاقه محققین در طول سال‌های گذشته بوده است. پدیده شکست سد که به صورت رها شدن کنترل نشده محتویات مخزن سد تعریف می‌شود می‌تواند در اثر فروپاشی تمام یا قسمتی از بدنه سد، به صورت آبی یا تدریجی باشد (شمسایی، ۱۳۸۳). عمق، سرعت و روندیابی سیلاب ناشی از شکست سد از موارد مهم در شبیه‌سازی جریان سیلابی می‌باشند، موارد ذکر شده از مولفه‌های مهم برای تصمیم‌گیری هشدار سیل و تخلیه سریع می‌باشند. شکست سد پدیده‌ای غیرخطی و وابسته به زمان و مکان است که در گروه جریان‌های غیرماندگار متغیر سریع قرار می‌گیرد و مطالعات متعددی بر روی هیدرولیک آن به روش‌های آزمایشگاهی، تحلیلی و عددی انجام شده است. در اکثر این مطالعات شرایط و پارامترهای مختلفی از جمله ساختار و جنس بدنه سد، حجم دریاچه سد، شرایط توپوگرافی و مورفولوژی پایین دست سد و همچنین شکست جزئی و کامل سد مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به هزینه بر بودن مدل‌های سه بعدی و دقت کم مدل‌های تک بعدی در حل عددی پدیده شکست سد، از معادلات آبهای کم عمق که بطور گسترده در مهندسی هیدرولیک کاربرد دارند، استفاده می‌شود. این معادلات با فرض فشار هیدرواستاتیک در اکثر جریان‌های آزاد و تقریب بوسینسک، از معادلات ناویراستوکس بدست آید (وانگ و جنگ، ۲۰۱۳). روش‌های عددی مختلفی برای حل معادلات آبهای کم عمق مورد استفاده قرار گرفته است. از آن جمله می‌توان به روش‌های تفاضلات محدود، المان‌های محدود و احجام محدود اشاره کرد. لازم به ذکر است که روش احجام محدود برای شبیه‌سازی جریان سیالات بعنوان دقیق‌ترین روش مورد قبول محققین این حوزه قرار گرفته است که در مدل‌های کامپیوتری نظیر: SRH-، RiverFlow2D، TUFLOW-FV، Hydro_AS-2D، 2D، BASEMENT و در سال‌های اخیر MIKE 21 مورد استفاده قرار گرفته است.

مطالعات اولیه و اولین بررسی‌ها بر روی شکست سد از سال‌های ۱۸۹۰ تا ۱۹۸۰ انجام شده که تمرکز کارهای صورت گرفته بر پیش‌بینی جریان سیلاب ناشی از شکست سد و پیشرفت آن بوده است. اولین حل صریح شکست سد، توسط ریتر (۱۸۹۲) ارائه شد که معادلات سنت و نانت را با صرف نظر از مقاومت هیدرولیکی ناشی از اصطکاک در یک کانال مستطیلی افقی نامحدود (بزرگ) حل کرد (به نقل از بلوس و هریسانتو (۲۰۱۱)). بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) راه حل عددی برای جریان آبهای سطحی بر اساس شکست ناگهانی سد را با استفاده از معادلات ناویر استوکس (RANS) ارائه نمود. در این مطالعه سه گزینه شکست سد در بستر بدون شیب و بدون مقاومت هیدرولیکی، در حالت وجود مانع مثلی در مسیر جریان پایین دست و همچنین شکست سد و عبور جریان سیلابی از مسیر خم ۹۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هرچند معادلات آبهای کم عمق در حالت دو بعدی بطور قابل قبولی جریان سیلابی را می‌تواند شبیه‌سازی کند ولی این معادلات اثر شتاب ثقل را که در معادلات سه بعدی وجود دارد را نمی‌تواند در محاسبات اعمال کند. ژاو سین پنگ (۲۰۱۲) به بررسی شکست ایده‌آل سد با حل معادلات آبهای کم عمق در حالت تک بعدی و دوبعدی در یک بستر غیرقابل نفوذ و شیب دار پرداخت. او برای حل معادلات جریان از مدل احجام محدود با استفاده از روش‌های Roe و HLL استفاده کرد. نتایج با داده‌های اندازه‌گیری شده در یک فلوم مورد مقایسه قرار گرفت و نشان داد جریان غیرماندگار در طول شکست سد بخوبی توسط مدل ارائه شده شبیه‌سازی شده است. راب و واسکوز (۲۰۱۵) شکست ناگهانی سد را توسط سه مدل کامپیوتری Flow 3D، Open Foam و TELEMAC-2D شبیه‌سازی کردند. مدل TELEMAC-2D بر اساس حل معادلات آبهای کم عمق (سنت- و نانت) کار می‌کند که در این مدل از اثرات سرعت و شتاب عمودی صرف نظر شده است. دو مدل دیگر بر اساس حل معادلات سه بعدی ناویر استوکس با استفاده از روش VOF جریان آب در سطح آزاد را شبیه‌سازی می‌کنند. نتایج شبیه‌سازی‌ها با

می کند. شیتر و مورتی (۱۹۹۶) شبیه سازی جریان انحرافی را در حالت دو بعدی با مدل SRH-2D انجام دادند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که شبیه سازی جریان در نزدیکی دیواره‌ها با مدل k-ε بسیار بهتر از مدل پارابولیک می باشد.

بدلیل رها شدن حجم بسیار زیاد آب و جاری شدن آن به مناطق پایین دست، پیش بینی چگونگی انتقال موج سیلاب ناشی از شکست جزئی و یا کامل سد، از نقطه نظر خسارات مالی به تاسیسات پایین دست و تلفات جانی ناشی از آن بسیار حائز اهمیت می باشد.

از فاکتورهای تاثیرگذار در شدت فاجعه شکست سد می توان به عمق و سرعت آب رها شده اشاره کرد، بنابراین لازم است مدل سازی سیلاب ناشی از شکست با دقت صورت بگیرد. مدل های دوبعدی در مقایسه با مدل های تک بعدی از دقت بالاتری برخوردار هستند از طرفی هرچند مدل های دوبعدی در مقایسه با مدل های سه بعدی دقت نسبتاً کمتری دارند ولی با توجه به کاهش بسیار شدید هزینه اجرای محاسبات در آنها در مقایسه با مدل های سه بعدی عملاً بیشتر مورد استفاده قرار می گیرند. تحقیق حاضر به منظور بررسی دقت و کارایی آخرین نسخه مدل عددی SRH-2D در شبیه سازی پدیده شکست سد و همچنین مقایسه نتایج آن با داده های اندازه گیری و نتایج سایر مدل های دو و سه بعدی انجام گرفت.

مواد و روش ها

معرفی مدل SRH-2D

در این تحقیق به بررسی توانایی شبیه سازی جریان ناشی از شکست سد با استفاده از مدل SRH-2D پرداخته شده است. نرم افزار SRH-2D برای اولین بار در سال ۲۰۰۶ توسط یانگ جی لی توسط موسسه USBR ارائه و توسعه داده شد. چندین نسخه بهبود یافته از این مدل در سال های بعد منتشر شد. در این تحقیق از آخرین نسخه (SRH-2D Version 3.3.1) که در سال ۲۰۲۰ ارائه شده استفاده شده است. این مدل شبیه سازی جریان و رسوب را

داده های اندازه گیری شده مورد مقایسه قرار گرفت و آنها نشان دادند که هر سه مدل بخوبی جریان سیلابی ناشی از شکست سد را می توانند شبیه سازی کنند. هر چند که مدل های سه بعدی مذکور با اختلاف بسیار ناچیزی سطح آب محاسبه شده را بهتر شبیه سازی می کنند و البته در یک مورد که پرش هیدرولیکی در مسیر جریان قرار داشت مدل دوبعدی نتایج قابل قبول تری ارائه داد.

باسیل لاوی و تئو فیک مهدی دو مدل SRH-2D و Hydro_AS-2D را به منظور شبیه سازی و تحلیل شکست ناگهانی سد مورد مقایسه قرار دادند (به نقل از لی (۲۰۰۸)). نتایج شبیه سازی با داده های اندازه گیری شده نشان داد که مدل Hydro_AS-2D نسبت به شبکه مش بندی ریز در دامنه حل حساسیت بیشتری داشته و نوسانات غیر واقعی در شبیه سازی سطح آب محاسبه شده ناشی از همین موضوع می باشد. آنها همچنین نشان دادند که مدل Hydro_AS-2D نسبت به مدل SRH-2D محاسبات جریان آب با سطح آزاد را سریعتر حل می کند. جوزدانی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل دوبعدی معادلات سنت - و نانت، هیدرودینامیک سیلاب ناشی از شکست سد در عبور از پیچان رودها را مورد بررسی و نتایج آن را با مدل های یک بعدی حل معادلات مقایسه کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد که در نظر گرفتن اثر خمها در مسیر سیلاب و نیز توالی خم هادر مقدار پیک سیلاب محاسبه شده اثر بسزایی داشته و بر نحوه پخش سیل در سواحل موثر است و همچنین باعث پخش و تاخیر رسیدن سیلاب به پایین دست می شوند. کماسی و همکاران (۱۳۹۴) به ارزیابی و مقایسه نتایج هیدروگراف حاصل از شکست سد دز با استفاده از مدل MIKE 11 و نتایج تجربی و در نهایت پهنه بندی سیلاب در اراضی پایین دست پرداخته است.

لی (۲۰۰۸ و ۲۰۱۰) نشان داد که مدل SRH-2D نتایج قابل قبولی در شبیه سازی جریان انتقالی در مقایسه با داده های اندازه گیری شده در طول یک پرش هیدرولیکی در یک کانال یک بعدی توسط مک دونالد (۱۹۹۶) را ارائه



در معادلات فوق t زمان و x و y مختصات دو بعدی نقاط، h عمق آب و U و V به ترتیب متوسط سرعت در راستای x و y میباشند. e نرخ بارش مازاد، g شتاب ثقل و τ_{xx} ، τ_{xy} و τ_{yy} متوسط فشار ناشی از جریان متلاطم بوده و D_{xx} و D_{xy} و D_{yx} و D_{yy} عبارات پراکنندگی به دلیل میانگین گیری در عمق می باشد.

$Z = Z_b + h$ که در آن Z تراز سطح آب و Z_b رقوم بستر می باشد. ρ چگالی آب و τ_{bx} و τ_{by} به ترتیب مولفه تنش برشی وارد بر بستر در جهت های x و y می باشند که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود (راهنمای نرم افزار SRH-2d):

$$\begin{pmatrix} \tau_{bx} \\ \tau_{by} \end{pmatrix} = \rho C_f \begin{pmatrix} U \\ V \end{pmatrix} \sqrt{U^2 + V^2} \quad (4)$$

$$C_f = \frac{gn^2}{h^3} \quad (5)$$

که در آن n ضریب زبری مانینگ می باشد. تنش های آشفته بر اساس معادله بوسینسک به صورت زیر می باشد (راهنمای نرم افزار SRH-2d):

$$T_{xx} = 2(v + v_t) \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3}k \quad (6)$$

$$T_{xy} = (v + v_t) \left(\frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \quad (7)$$

$$T_{yy} = 2(v + v_t) \frac{\partial V}{\partial y} - \frac{2}{3}k \quad (8)$$

که در آن v لزجت دینامیکی سیال و v_t لزجت گردابی و آشفته و k هم انرژی جنبشی در حالت آشفته می باشد. لزجت گردابی آشفته (v_t) به روش های مختلفی محاسبه می شود. از جمله این روش ها که در نرم افزار مذکور استفاده می شود می توان به دو روش پارابولیک و مدل $k-\epsilon$ اشاره نمود. انتخاب هر کدام از این مدل های اغتشاش در SRH-2D اختیاری می باشد. در مدل Parabolic لزجت گردابی به صورت زیر تخمین زده می شود (لی (۲۰۰۸):

$$v_t = C_t U^* h \quad (9)$$

در حالت دو بعدی انجام می دهد. در این مدل معادلات آبهای کم عمق (سنت-ونانت) با استفاده از روش احجام محدود و به روش صریح حل شده است. نرم افزار مذکور قادر به مش سازی در محیط برنامه نیست و بر اساس توصیه توسعه دهندگان مدل SRH-2D می توان از نرم افزار SMS استفاده شود. فایل مش ساخته شده در محیط SMS با پسوند 2dm ذخیره و در محیط SRH-2D فراخوانی میشود. نتایج خروجی و گرافیکی در نرم افزارهایی نظیر TECPLOT، ECXEL، SMS و GIS قابل مشاهده می باشد. به همین منظور در این تحقیق از نرم افزار TECPLOT جهت مشاهده و بررسی نتایج خروجی استفاده شده است.

معادلات حاکم

در جریان در کانال های روباز با عمق نسبتا کم تاثیر حرکات عمودی ناچیز است. در نتیجه بیشتر معادلات جریان -معادلات سه بعدی ناویر استوکس- در عمق میانگین گیری شده و سپس این مدل معادلات موج دینامیک میانگین گیری شده در عمق (معادلات استاندارد سنت وونانت) را به روش عددی حجم محدود حل می کند. این مدل معادلات موج دینامیک میانگین گیری شده در عمق (معادلات استاندارد سنت وونانت) را به روش عددی حجم محدود حل میکند. معادلات دو بعدی مورد استفاده در مدل عبارتند از (لی (۲۰۰۸):

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hU}{\partial x} + \frac{\partial hV}{\partial y} = e \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial hU}{\partial t} + \frac{\partial hUU}{\partial x} + \frac{\partial hVU}{\partial y} &= \frac{\partial hT_{xx}}{\partial x} \\ &+ \frac{\partial hT_{xy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + D_{xx} + D_{xy} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial hV}{\partial t} + \frac{\partial hUV}{\partial x} + \frac{\partial hVV}{\partial y} &= \frac{\partial hT_{xy}}{\partial x} \\ &+ \frac{\partial hT_{yy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + D_{yx} + D_{yy} \end{aligned} \quad (3)$$

مرز محدوده مورد مطالعه تعریف می شود که انتظار می رود جریان به داخل دامنه وارد شود. امکان تعریف چندین ورودی برای یک دامنه حل وجود دارد. در یک مرز ورودی، مقدار سرعت و همچنین توزیع سرعت ورودی توسط کاربر مشخص می شود. در جریان فوق بحرانی علاوه بر تعریف سرعت و دبی جریان در ورودی لازم است عمق و یا رقوم سطح آب در مرز ورودی نیز تعریف شود. در صورت استفاده از رابطه مدل $k-\varepsilon$ با استفاده از روابط ارائه شده توسط راستوگی و رودی (۱۹۷۸) مقادیر مقادیر انرژی جنبشی اغتشاش K و نرخ امحاء ε برای مرز ورودی محاسبه می شوند.

در مرز خروجی وقتی که انتظار می رود جریان زیربحرانی باشد، فقط رقوم سطح آب به عنوان شرایط مرزی مورد نیاز است. اگر جریان در خروجی فوق بحرانی باشد، هیچ شرایط مرزی لازم نیست. SRH-2D با فرض ثابت بودن مشتقات متغیرهای نرمال بر مرز به طور خودکار متغیرها را در خروجی محاسبه می کند. کاربر می تواند رقوم سطح آب ثابت یا وابسته به زمان و رابطه دبی-اشل را برای مرز خروجی معرفی نماید. علاوه بر این محاسبه رقوم سطح آب با استفاده از حل معادله موج سینماتیک توسط مدل از جمله دیگرگزینه های قابل انتخاب برای تعیین رقوم سطح آب در مرز خروجی می باشد.

معیارهای ارزیابی

برای مقایسه نتایج مدل با داده های اندازه گیری نیاز به معیارهایی است تا بتوان نتایج برآوردهای مختلف را با یکدیگر مقایسه نمود. بدین منظور در این مطالعه از معیارهای ذیل استفاده می گردد.

$$R^2 = \frac{[\sum x_i y_i - \frac{(\sum x_i)(\sum y_i)}{n}]^2}{[\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n}][\sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n}]} \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{(y_i - x_i)^2}{n}} \quad (12)$$

که در آن U^* سرعت برشی در کف، C_t ثابت معادله بین 0.3 تا 1 می باشد که در مدل SRH-2D مقدار پیش فرض آن 0.7 می باشد. در مدل $k-\varepsilon$ از معادله زیر برای محاسبه لزجت گردابی سیال استفاده می شود (لی، ۲۰۰۸):

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (10)$$

که در آن $C_\mu = 0.09$ ، k انرژی جنبشی اغتشاش و ε نرخ امحاء انرژی جنبشی می باشد که با حل همزمان معادلات مربوطه بدست می آیند.

شرایط اولیه و مرزی

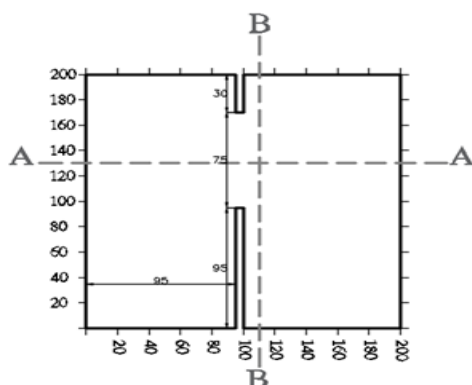
رقوم سطح آب یا عمق جریان، مولفه های سرعت جریان (U, V) ، مقادیر انرژی جنبشی اغتشاش K و نرخ امحاء ε (در صورت استفاده از مدل $k-\varepsilon$) به عنوان شرط اولیه برای شروع شبیه سازی لازم است. البته در شرایط جریان ماندگار تنها رقوم سطح آب یا عمق جریان کافی است و سایر متغیرها بصورت اتوماتیک توسط مدل انتخاب می شوند.

انواع مختلف شرایط مرزی از قبیل عدم لغزش (شرط دیوار صلب)، تقارن (لغزش آزاد)، جریان و روی، رقوم سطح آب مشخص، ورود و خروج جریان با عمق بحرانی، عمق نرمال و ... در مدل در نظر گرفته شده است.

قانون دیوار به عنوان شرط مرزی برای دیوار صلب استفاده می شود و مولفه های تنش برشی در سلول نزدیک دیوار محاسبه محاسبه می شود. جریئات بیشتر و معادلات مربوطه برای قانون دیوار در شرایط استفاده از هر دو روش پارابولیک و مدل $k-\varepsilon$ در محاسبه ضریب لزجت گردابی آشفته در راهنمای نرم افزار (لی، ۲۰۰۸) ارائه شده است. مرز تقارن به عنوان مرزی تعریف می شود که در آن با فرض اینکه گرادیان متغیر در جهت عمود به مرز صفر باشد همه متغیرهای وابسته به جز مولفه سرعت عمود به مرز برون یابی می شوند. همچنین مولفه سرعت عمود به مرز صفر است. مرز ورودی به عنوان یک بخش از



خطرات جبران ناپذیر آن، از اهمیت بسزائی برخوردار است. در این بخش شکست جزئی نامتقارن سد شبیه سازی شده است که در این گزینه از مدل عددی فنومنا و چادری (۱۹۸۹) استفاده شده است. این مدل یک کانال مستطیلی به طول ۲۰۰ متر و عرض ۲۰۰ متر به همراه یک سد در مرکز این ناحیه می باشد. شکاف نامتقارنی به طول ۷۵ متر در طول بدنه سد در مختصات نشان داده شده در شکل (۱) وجود دارد. همچنین دیواره سد دارای ضخامت ۵ متر می باشد. شرایط اولیه و مرزی این مدل به شرح زیر می باشد.



شکل (۱): محدوده مورد مطالعه در مدل فنومنا و چادری (۱۹۸۹)

شرایط مرزی و اولیه

شرایط اولیه بر اساس مدل ارائه شده توسط فنومنا و چادری (۱۹۸۹) اعمال شده است. در شروع شبیه سازی عمق آب در بالادست سد ۱۰ متر و بلافاصله در پایین دست سد ۵ متر می باشد. دیواره ها و کف مدل غیر قابل نفوذ، بدون شیب و بدون مقاومت هیدرولیکی در نظر گرفته شده است. همچنین شرط مرزی اطراف ناحیه به صورت دیوار صلب در نظر گرفته شد. گام های زمانی برای شبیه سازی توسط مدل ۰.۰۲ ثانیه در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که این مدل بعنوان مدل مرجع جهت مقایسه و صحت سنجی در اکثر تحقیقات قبلی نیز استفاده شده است

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i - x_i|}{n} \quad (13)$$

ضریب تبیین R^2 معیاری است که قدرت رابطه خطی بین متغیر X و متغیر Y را نمایش می دهد. مقدار این معیار بین صفر و ۱ قرار می گیرد و هرچه به ۱ نزدیک تر باشد نشان دهنده اینست که رابطه خطی به شکل مناسبی بین این متغیرها وجود دارد. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) یک معیار دقت برازش مقایسه ای است که از نظر عددی دارای حداقل برابر با صفر است اما از سمت مقادیر بالاتر محدود شده نمی باشد. معیار میانگین قدر مطلق خطا (MAE) معیاری است که مانند RMSE دارای حد پایین صفر است اما از کران بالا محدود شده نیست. ویژگی مشخص این معیار ارزیابی این است که که انتظار خطا را به طور متوسط نشان می دهد و از این نظر برای پژوهشگران دارای اهمیت است.

نتایج و بحث

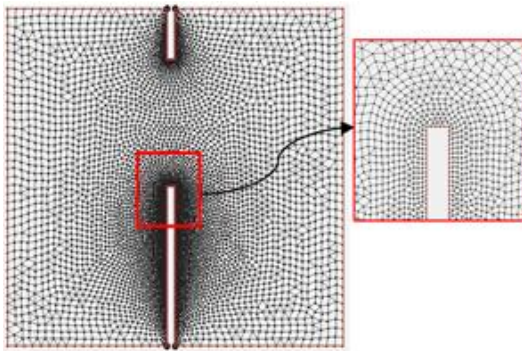
به منظور صحت سنجی مدل SRH-2D و توانایی آن در شبیه سازی جریان ناشی از شکست ناگهانی سد، نتایج آن با داده های اندازه گیری و آزمایشگاهی حاصل از تحقیقات صورت گرفته توسط سایر محققین مقایسه شد. در برخی موارد همانند شکست ستون استوانه ای از آب و یا شکست جزئی بر روی بستر بدون اصطکاک که عملاً اندازه گیری امکان پذیر نیست و یا در مورد اخیر در عمل بستر بدون اصطکاک وجود ندارد نتایج مدل حاضر با سایر مدل های موجود و یا نتایج حل تحلیلی مقایسه شده است. که در ادامه به منظور صحت سنجی مدل به آنها پرداخته می شود:

شبیه سازی شکست جزئی نامتقارن سد در بستر تر

و بدون اصطکاک

مطالعات روندیابی سیلاب ناشی از شکست سد برای تعیین مناطق بحرانی در پایین دست سد با توجه به

برابر ۶/۷ متر می باشد. همچنین در بررسی خطوط هم تراز آب مشاهده شد که مدل فنومنا و چادری (۱۹۸۹) در محاسبه پیشانی موج اولیه آب با بقیه مدل‌های ارائه شده اندکی متفاوت می باشد.

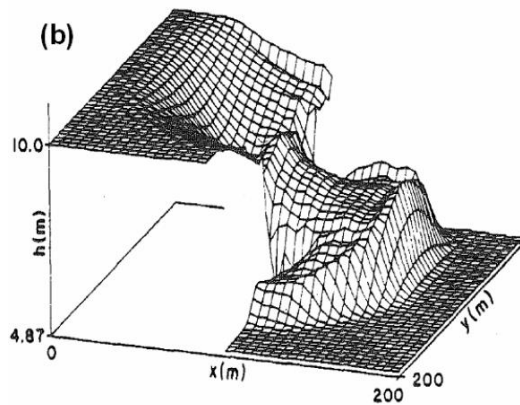
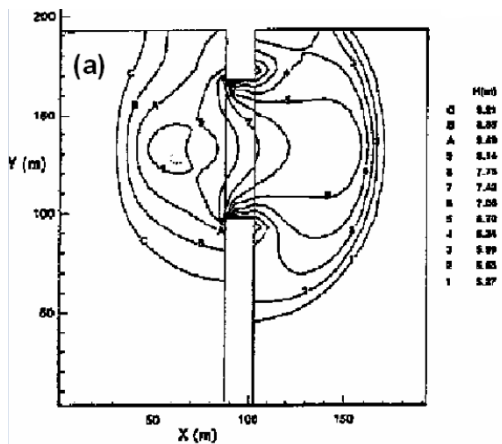


شکل (۲): مش بندی محدوده مورد مطالعه در نرم افزار sms9.2

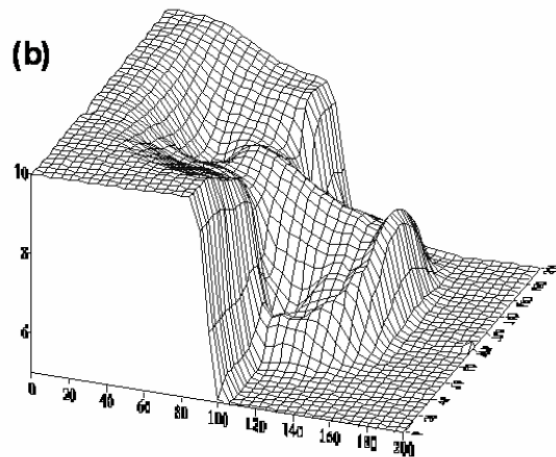
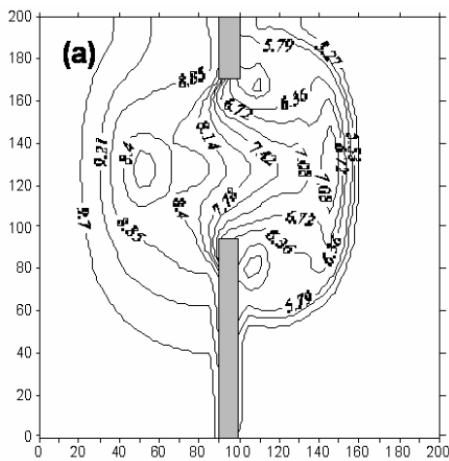
به منظور مقایسه، هیدروگراف اشل محاسبه شده در نقطه (۱۰۰، ۱۳۰) متر توسط مدل فنومنا و چادری، بیسکارینی و همکاران و مدل SRH-2D مورد بررسی قرار گرفت. مقدار سطح آب ماکزیمم مشاهده شده در شکل (۴) توسط مدل SRH-2D حدود ۷/۶۴ متر و در زمان ۶/۶ ثانیه از شروع محاسبات، در مدل دوبعدی ارائه شده توسط بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) برابر ۸/۰۳ متر و در زمان ۶/۶ ثانیه، و در مدل سه بعدی ارائه شده توسط محققان مذکور برابر ۷/۷۸ متر و در زمان ۴/۶ ثانیه می باشد. همانطور که مشاهده می شود در مدل SRH-2D زمان رسیدن به پیک هیدروگراف دقیقاً برابر با زمان مدل دو بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) و مقدار سطح آب در این زمان حدود ۰.۲۴ متر اختلاف دارد. اما مقدار سطح آب محاسبه شده در زمان‌های پس از رسیدن به پیک اشل-زمان توسط مدل SRH-2D تقریباً حد متوسط مدل‌های دو و سه بعدی ارائه شده مذکور می باشد (شکل (۵)).

شبکه بندی

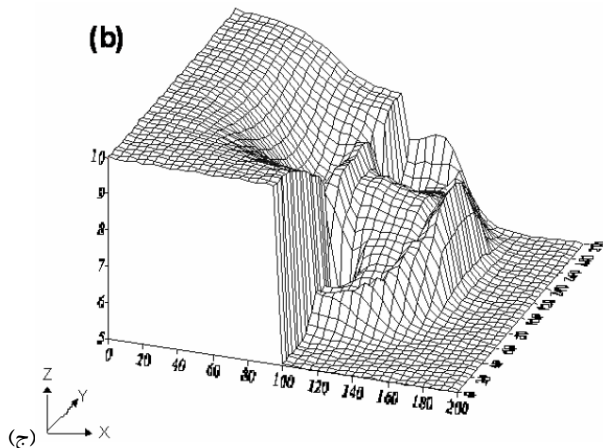
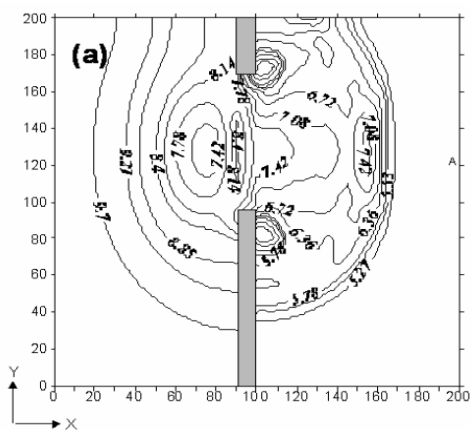
شکل (۲) نمایی از محدوده مش بندی شده در نرم افزار SRH-2D را نشان می دهد. در همه مدل‌های شبیه سازی شده توسط نرم افزار SRH-2D در این مطالعه، مش بهینه بر اساس سعی و خطا بدست آمده است. بدین صورت که مش بندی از مش درشت به ریز انجام شده و بزرگترین اندازه مشی که بعد از آن تغییرات در نتایج (رقوم سطح آب و سرعت جریان) مشاهده نشد، بعنوان مش بهینه انتخاب شده است. لازم به ذکر است این تغییرات تا کمتر از ۱۰ درصد قابل قبول می باشد. همچنین نوع مش بندی استفاده شده در این تحقیق ترکیبی از المان‌های سه و چهار وجهی می باشد (بدلیل انعطاف پذیری بالا در شبیه سازی محدوده). همانگونه که مشخص است در نزدیکی دیواره‌ها بمنظور بالا بردن دقت محاسباتی مدل، مش بندی ریزتری در نظر گرفته شده است. رقوم سطح آب در مخزن سد و همچنین پایین دست بدنه سد بعنوان شرایط اولیه به مدل اعمال شده است. همچنین محل بدنه سد که شکست در آن اتفاق می افتد (همانطور که در شکل (۲) مشخص است) بعنوان مرز باز در نظر گرفته شد. با استفاده از تکنیک گفته شده پدیده شکست سد در نرم افزار شبیه سازی شده است. در شکل (۳) خطوط همتراز سطح آب ۷/۲ ثانیه پس از شکست در مدل‌های فنومنا و چادری (۱۹۸۹)، بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) و مدل SRH-2D نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می شود الگوی خطوط همتراز در همه مدل‌های مذکور تقریباً یکسان می باشد. به منظور مقایسه دقیق تر نیمرخ سطح آب در امتداد محورهای A-A و B-B در شکل‌های ۳ و ۴ مقایسه شده است. همانگونه که مشاهده می شود همه مدل‌های ذکر شده سطح آب در مقاطع نشان داده شده را تقریباً یکسان محاسبه نموده اند. در این مدل‌ها در مرکز محور شکست عمق آب محاسبه شده تقریباً برابر ۷/۴ متر می باشد. همچنین عمق آب در پیشانی جلو رونده نیز



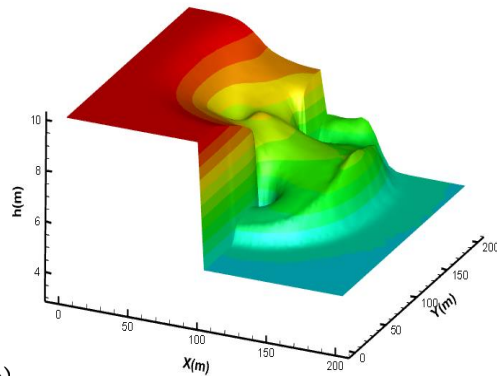
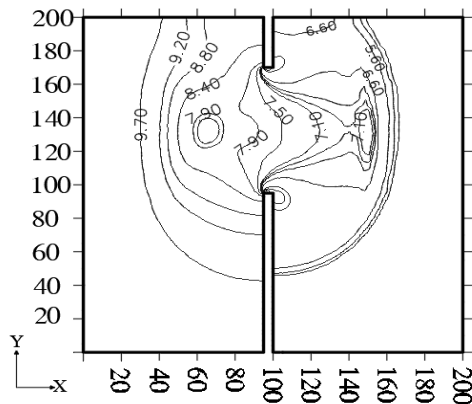
(الف)



(ب)

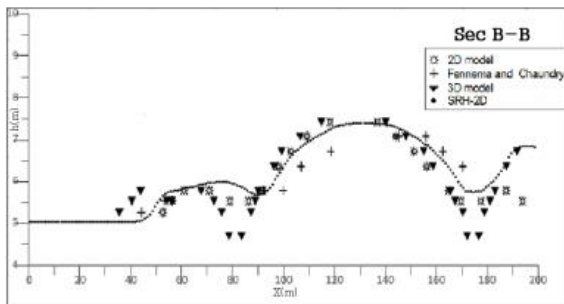


(ج)

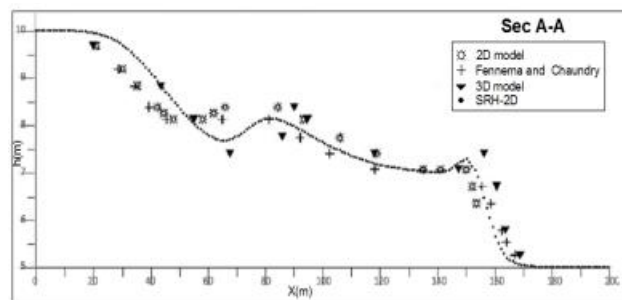


(د)

شکل (۳): خطوط تراز در فاصله ۶/۵ تا ۹/۵ متر با فواصل ۰/۵ متری به همراه نمای سه بعدی سطح آب ۷/۲ ثانیه بعد از شکست مدل فنومنا و چادری (۱۹۸۹) ب- مدل دوبعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) ج) مدل سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) مدل SRH-2D (د)

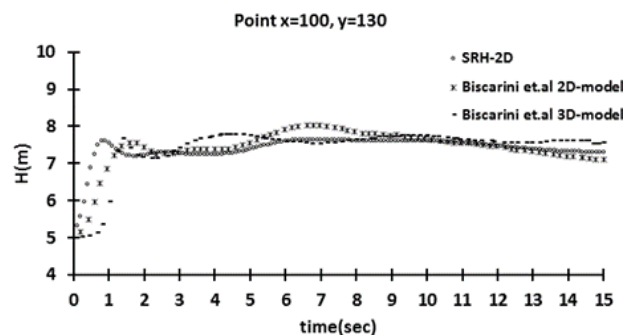


ب



الف

شکل (۴): نیمرخ سطح آب محاسبه شده در امتداد الف) محور A-A و ب) محور B-B در مدل فنومنا و چادری (۱۹۸۹)، مدل های دو و سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) و مدل SRH-2D



شکل (۵): مقایسه رابطه اشل زمان محاسبه شده توسط مدل SRH-2D با مدل های دو و سه بعدی ارائه شده توسط بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)

- فرازاتو (۲۰۰۲). مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه یک کانال مستطیلی به طول ۵/۶ متر و عرض ۰/۵ متر و از جنس شیشه می باشد. ارتفاع مخزن ابتدای کانال ۲/۳ متر که در شروع اندازه گیری تا ارتفاع ۰/۱۱۱ متر از آب پر می شود. یک دریچه در محل نشان داده شده در شکل

شبیه سازی شکست سد در حضور مانع مثلثی در مسیر جریان پایین دست

این مدل آزمایشگاهی در دانشگاه UCL و در دانشکده مهندسی عمران طراحی و اندازه گیری شده است (سوارز



سازی و اندازه‌گیری شده در زمان‌های ۱/۸، ۳، ۳/۷ و ۸/۴ ثانیه مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۸). همانگونه که مشخص است مدل SRH-2D در ابتدای شبیه‌سازی بخوبی نتوانسته است که موج منفی ناشی از برخورد به مانع را شبیه‌سازی کند (زمان ۱/۸ ثانیه). با دقت در نتایج به دست آمده توسط بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشاهده می‌شود که هیچیکدام از مدل‌های دو و سه بعدی ارائه شده نیز نتوانسته اند موج اولیه منفی ناشی از برخورد آب به مانع را شبیه‌سازی کنند. همچنین مدل دو بعدی ارائه شده توسط بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) اختلاف فاحشی با داده‌های اندازه‌گیری دارد که این مورد در مدل SRH-2D به هیچ وجه مشاهده نشده و توانسته سطح آب را مشابه مدل سه بعدی ارائه شده محاسبه کند. با عبور جریان از روی مانع و برخورد موج پیش رونده به انتهای کانال مدل SRH-2D بخوبی نتوانسته سطح آب را شبیه‌سازی کند (زمان‌های ۳ و ۳/۷ ثانیه) که در مقایسه با مدل‌های دو و سه بعدی ارائه شده توسط بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) نتایج بسیار بهتری ارائه کرده است. در نهایت در انتهای زمان اندازه‌گیری (۸/۴ ثانیه) و چندین بار رفت و برگشت موج آب به انتهای کانال، مدل SRH-2D سطح آب قبل از مانع و در وجه بالادست آن را تقریباً مشابه داده‌های اندازه‌گیری محاسبه کرده است اما در شبیه‌سازی موج برگشتی در پایین دست مانع و تا حدودی در انتهای کانال با داده‌های اندازه‌گیری شده مقداری اختلاف دارد که این اختلاف می‌تواند ناشی از در نظر نگرفتن اثرات شتاب جاذبه در مدل‌های دو بعدی باشد. در این زمان مدل سه بعدی ارائه شده توسط بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) نتوانسته است بخوبی نوسانات سطح آب را پس از شکست شبیه‌سازی کند در حالیکه مدل دو بعدی آنها به هیچ وجه در شبیه‌سازی نوسانات سطح آب موفق نبوده است.

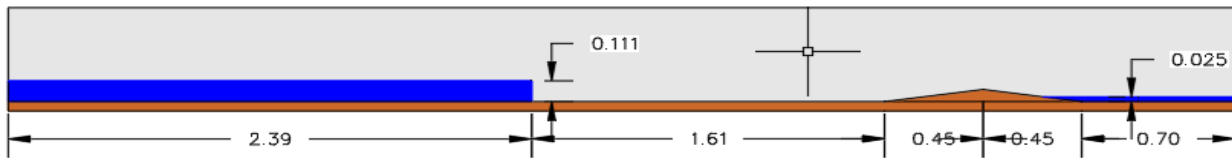
(۶) که سریعاً می‌تواند باز شود، بمنظور شبیه‌سازی شکست سد تعبیه شده است. در پایین دست مخزن و با فاصله ۱/۶۱ متر یک مانع مثلثی با ارتفاع ۰/۰۶۵ متر و شیب جانبی دیواره‌های ۰/۱۴ قرار گرفته است. دقیقاً بعد از این مانع یک حوضچه با ارتفاع آب اولیه ۰/۰۲۵ متر نیز قرار گرفته است. انتهای این حوضچه کاملاً مسدود شده است تا شبیه‌سازی جریان بین دو مخزن صورت گیرد.

شرایط مرزی و اولیه

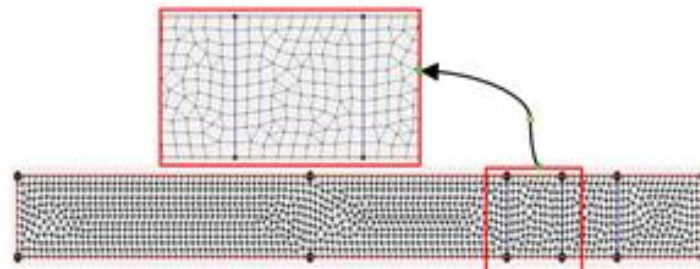
شرایط مرزی و اولیه مطابق به اطلاعات ارائه شده در آزمایش سوارز و فرازائو (۲۰۰۲) می‌باشد.

شبکه بندی

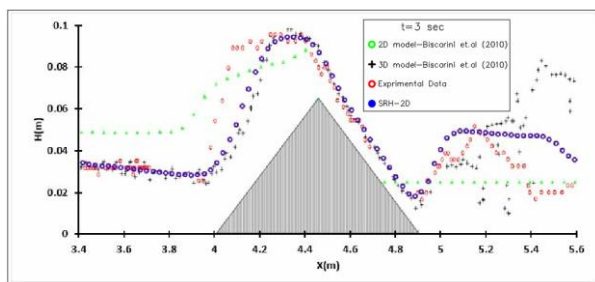
شکل (۷) نمایی از شبکه بندی محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مش بندی با اندازه ۰/۰۵ متر در طول کل کانال توسط نرم افزار SMS9.2 صورت گرفته است. شرایط اولیه و مرزی به همراه شبکه مش بندی شده جهت شبیه‌سازی جریان به نرم افزار SRH-2D معرفی گردید. گام‌های زمانی جهت محاسبه نیز در این نرم افزار ۰/۰۱ ثانیه در نظر گرفته شده است. شکل (۸) مقایسه بین نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل SRH-2d و همچنین نتایج مدل‌های دو و سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) با نتایج داده‌های آزمایشگاهی سوارز - فرازائو (۲۰۰۲) را نشان می‌دهد. عبور جریان آب از روی مانع مثلثی شرایط پیچیده‌ای را بدلیل امواج برگشتی در نتیجه برخورد آب به مانع موجود در مسیر و همچنین دیواره انتهایی کانال ایجاد می‌کند. با مقایسه نتایج نشان داده شده در نمودار مشخص می‌شود که مدل دو بعدی SRH-2D بخوبی نتوانسته جریان عبوری از روی مانع را شبیه‌سازی کند. در ابتدای شبیه‌سازی و باز شدن ناگهانی دریچه، با رسیدن آب به مانع مثلثی یک موج منفی در اثر برخورد با مانع به سمت بالادست ایجاد شده و همچنین باقیمانده موج اولیه از روی مانع عبور می‌کند. جهت مقایسه نتایج حاصل از امواج ایجاد شده نتایج شبیه



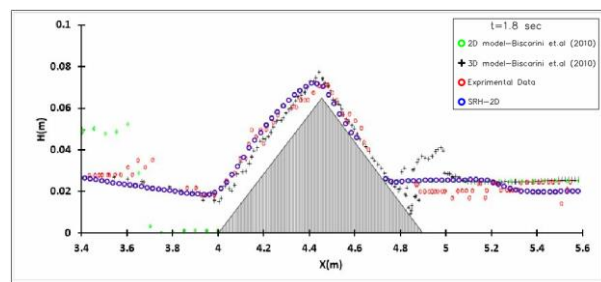
شکل (۶): مدل آزمایشگاهی و شرایط اولیه ارائه شده توسط سوارز - فرازائو (۲۰۰۲)



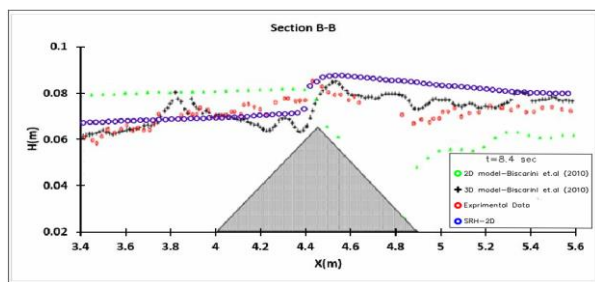
شکل (۷): مش بندی محدوده مورد مطالعه در نرم افزار SMS 9.2



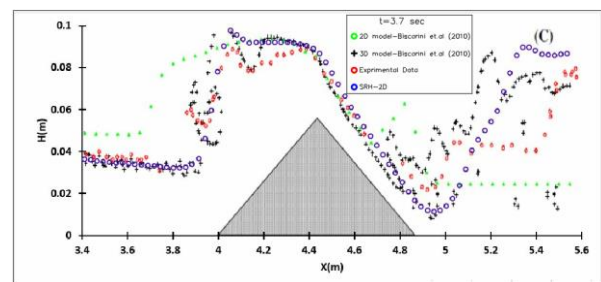
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل (۸): مقایسه نتایج حاصل از مدل های دو و سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) و مدل SRH-2D با داده های اندازه گیری در زمان های الف- ۱/۸ ثانیه ب- ۳ ثانیه ج- ۳/۷ ثانیه د- ۸/۴ ثانیه



جدول (۱): مقادیر پارامترهای آماری به منظور مقایسه نتایج مدل های مختلف با داده های اندازه گیری سوارز و فرازانو (۲۰۰۲)

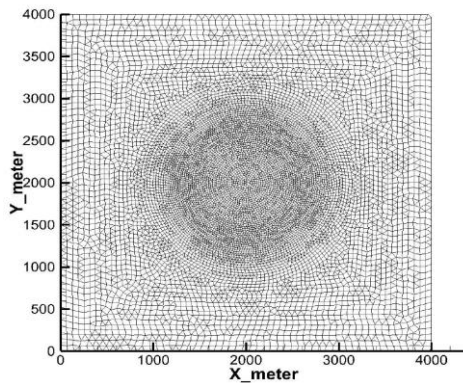
زمان (ثانیه)	نام مدل	R ²	RMSE(m)	AME(m)
۱/۸	مدل SRH-2D	۰/۹۳	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴
	مدل دو بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۰۹۲	۰/۰۱۵	۰/۰۱۱۲
	مدل سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۷۹	۰/۰۸۱	۰/۰۰۵۷
۳	مدل SRH-2D	۰/۷۸	۰/۰۱۲	۰/۰۰۸۲۹
	مدل دو بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۶۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴۹
	مدل سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۳۹	۰/۰۲۱	۰/۰۱۳۳
۳/۷	مدل SRH-2D	۰/۷۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱۵
	مدل دو بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۴۶	۰/۰۲	۰/۰۱۵۸
	مدل سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۴۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۳
۸/۴	مدل SRH-2D	۰/۳۷	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷
	مدل دو بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵
	مدل سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰)	۰/۴۴۴	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵

مخزن توسط مدل حاضر با نتایج مدل سرورام و شمسایی (۱۳۹۲) و مدل بولتزمن لیو و همکاران (به نقل از سرورام و شمسایی (۱۳۹۲)) و قبادیان (۱۳۹۸) در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود در مدل حاضر شدت نوسانات مصنوعی ایجاد شده در نیمرخ سطح آب در مقایسه با مدل بولتزمن لیو و همکاران کمتر است و در مقایسه با مدل های سرورام و شمسایی و قبادیان نوسانات مصنوعی در عمق جریان کاملاً حذف نشده است. در برخی مدل ها با اعمال ترم لزجت مصنوعی و در برخی دیگر نیز مدل قبادیان با افزایش تعداد نقاط درگیر در محاسبات و ایجاد ارتباط بیشتر بین آنها این نوسانات مصنوعی در عمق جریان حذف شده است.

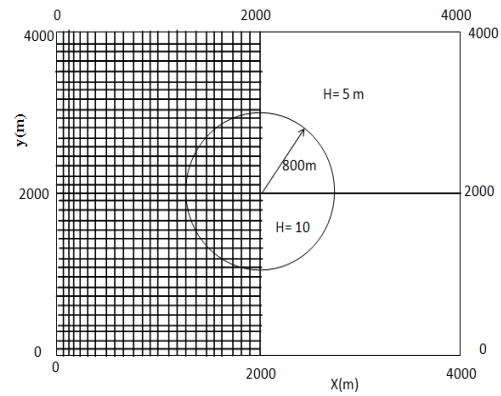
مقادیر پارامترهای آماری ارائه شده در جدول (۱) نیز نشان می دهند مدل SRH-2D توانسته است در بیشتر زمان های اندازه گیری محاسبات دقیق تری را ارائه نماید حتی در بیشتر موارد بجز زمان های انتهایی شبیه سازی هنگام برگشت موج برگشتی از انتهای کانال بهتر از مدل سه بعدی بیسکارینی و همکاران (۲۰۱۰) عمل نموده است.

شکست ستون استوانه ای

در این گزینه شکست ستونی از آب به شعاع ۸۰۰ متر که در مرکز مخرنی به ابعاد ۴۰۰۰ متر در ۴۰۰۰ متر قرار دارد مورد بررسی قرار گرفته است. ارتفاع ستون آب ۱۰ متر و عمق آب داخل مخزن ۵ متر می باشد (شکل ۹). فرض شده است بستر بدون اصطکاک و افقی می باشد. به منظور مقایسه، پروفیل سطح آب محاسبه شده در زمان های مختلف در امتداد محور افقی عبور کرده از مرکز

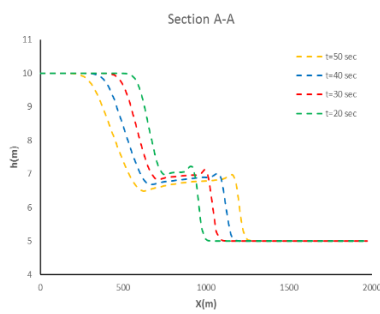


(الف)

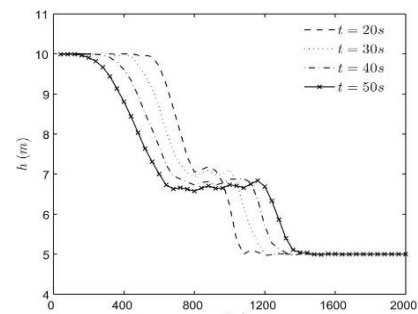


(ب)

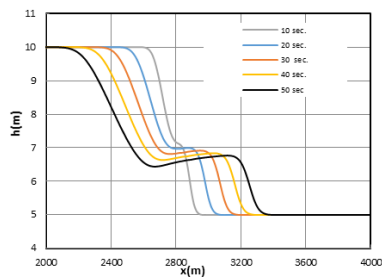
شکل (۹): (الف) محدوده مورد مطالعه و شرایط اولیه برای شکست ستون استوانه ای به شعاع ۸۰۰ متر (ب) نمونه مش ساخته شده



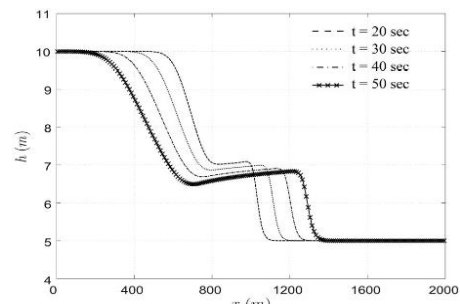
مدل SRH-2D



مدل بولتزمن لیو و همکاران (به نقل از شمسایی و سرورام (۱۳۹۲))



قبادیان (۱۳۹۸)



مدل شمسایی و سرورام (۱۳۹۲)

شکل (۱۰): پروفیل سطح آب محاسبه شده در زمان‌های مختلف در امتداد محور افقی عبور کرده از مرکز مخزن

روی مانع مثلی در مسیر جریان پایین دست ج- شکست ستون استوانه ای. از نتایج شبیه سازی توسط مدل SRH-2D مشخص شد که این مدل بخوبی توانسته است تطابق بسیار خوبی با داده‌های اندازه گیری شده و مدل‌های موجود را ارائه نماید. برای نمونه در محاسبه پروفیل‌های سطح آب در شکست سد و در حضور مانع مثلی، مدل

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی توانایی مدل SRH-2D در تحلیل شکست سدهای بتنی پرداخته شده است. جهت صحت سنجی سه مدل به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت: الف- شبیه سازی شکست جزئی نامتقارن سد در بستر تر و بدون اصطکاک ب- شبیه سازی شکست سد



حذف اثرات عمودی شتاب جاذبه در مدل‌های دو بعدی باشد که از معادلات آب‌های کم عمق استفاده می‌کنند. شایان ذکر است در سایر موارد بررسی شده در این تحقیق این مدل در شبیه‌سازی شکست ناگهانی سد نسبت به مدل‌های عددی و کامپیوتری ارائه شده توسط محققین قبلی قابل رقابت و حتی بهتر عمل نموده است.

توانست داده‌های اندازه‌گیری شده را با دقت خوبی در بیشتر زمان‌های ثبت شده بر آورد نماید. با این وجود در برخی زمان‌ها بویژه در زمان ۸/۴ ثانیه و در پایین دست مانع مثلثی هنگام برگشت موج پس از برخورد به دیوار انتهایی با داده‌های اندازه‌گیری شده اختلاف مشاهده شد که این اختلاف می‌تواند ناشی از طبیعت دوبعدی مدل و

منابع

- قبادیان ر. ۱۳۹۸. بکارگیری روشهای پرش قورباغه و لکس در مدل سازی دو بعدی شکست سد به روش تفاضل محدود صریح. دانش آب و خاک، جلد ۲۹ شماره ۲.
- Biscarini, C., Francesco, S. D. and Manciola, P. 2010. CFD modelling approach for dam break flow studies. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(4), 705-718.
- Bellos, V. and Hrissanthou, V. 2011. Numerical solution of a dam-break flood wave. *European Water* 33, 45-53.
- Fennema, R. J. and Chaudhry, M. H. 1989. Explicit methods for two dimensional transient free-surface flows, *JHE*, 116(8), 1013-1034.
- Lai, Y. G. 2008. SRH-2D version 2: Theory and User's Manual. U.S. Department of the interior. Bureau of Reclamation, Denver.
- Lai, Y. G. 2010. Two-Dimensional Depth-Averaged Flow Modeling with an Unstructured Hybrid Mesh. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(1), 12-23.
- Peng, S. H. 2012. 1D and 2D numerical modeling for solving dam-break flow problems using finite volume method. *Journal of Applied Mathematics*.
- Rastogi, A., and Rodi, W. (1978). Prediction of heat and mass transfer in open channels. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 104(3), 397-420.
- Ritter, A. 1892. Die fortpflanzung de wasserwellen. *Zeitschrift Verein Deutscher Ingenieure*, 36(33), 947-954.
- Robb, D. M. and Vasquez, J. A. 2015. Numerical simulation of dam-break flows using depth-averaged hydrodynamic and three-dimensional CFD models. In *Proceeding of Canadian Society for Civil Engineering 22nd Hydro technical Conference*. P. 27-36.
- Sarvaram, H. and Shamsaei, A. 2013. An Implicit, semi-lagrangian method for 2D numerical modeling of dam break flow. *Iran Water Research Journal .IWRJ*, 7(13), p. 21-30. In Farsi.
- Shettar, A. S., et Murthy, K. K. 1996. A numerical Study of Division of Flow in Open Channels. *Journal of Hydraulic Research*, 34(5), p. 651-675.
- Soares Frazão, S. 2002. Dam-break induced flows in complex topographies. Theoretical, numerical and experimental approaches, PhD Thesis, Louvain-la-Neuve: Université catholique de Louvain, Civil Engineering Department, Hydraulics Division, 116(8).
- Soares Frazão, S. and Zech, Y. 2002. Dam Break in channels with 90° bend, *J. Hydraul. Eng.-ASCE*, 128(11), P.956-968.
- Technical Report ST-2019-1724-01, SRH-Flow User's Manual, Sedimentation and River Hydraulics. U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Technical Service Center, Sedimentation and River Hydraulics Group.



Assessment of Efficiency of SRH-2D Model in Hydraulic Analysis of Flow Due to Sudden Dam Break

Rasool Ghobadian¹, Sajad Nikravesh²

Abstract

The subject of dam break has always been one of the most important and favorite issues of researchers over the past years. Due to the release of a large volume of water and its flow to the downstream areas, predicting how the flood wave due to partial or complete dam break will be transmitted, from the point of view of financial damage to downstream facilities and casualties due to it is very important. Several one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional numerical methods and computer models have been proposed to solve the hydraulic equations of flow due to dam failure in open channels. One of these computer models is the two-dimensional SRH-2D model, which is based on solving shallow water equations, and its latest version 3.3.1 was developed recently. This study was conducted to investigate the ability of this model to simulate hydraulic flow due to sudden dam break. For this purpose, the available laboratory data as well as the results of other 2D and 3D models were used. After implementing the model, the results were compared with the analytical solution of sudden one-dimensional dam break on the frictionless bed, partial and asymmetric dam break with the presence of a triangular obstruction in the downstream flow path and also comparing the results of two-dimensional failure of water cylindrical column. In all cases, the present model accurately simulated the flow due to dam failure.

Keywords: SRH-2D model, dam break simulation, shallow water equations, partial and complete dam break.

¹- Associate Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran, r_ghobadian@razi.ac.ir (Corresponding Author)

²- M.Sc. Graduated, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran, snikravesh2011@gmail.com