



Research Paper

Numerical Study of Simultaneous Effect of the Sidewall Slope and the Geometric Shape of Reservoir on the Flood Characteristics Caused by Dam Break on Dry Bed Condition

Alireza Asadpour Ardabili¹ and Atabak Feizi^{2*}

¹M.Sc. Alumni, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

²Assoc. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Article information

Received: May 15, 2021

Revised: June 21, 2021

Accepted: June 22, 2021

Keywords:

Dam Break

Reservoir Geometry

Sidewall Slope of

Reservoir

3D Numerical Simulation

*Corresponding author:

a_feizi@uma.ac.ir



Abstract

Dams are structures that, despite environmental impacts, are built primarily to provide water and energy. The failure of the dam creates a huge current that follows the flood in the downstream areas. For this reason, determining the characteristics of the dam failure current, including the depth of flow and the speed of wave propagation, is of great importance. In this study, the simultaneous effect of the geometric shape of the reservoir on the plan and slope of the sidewall of the reservoir on the pattern and how the flood wave caused by the failure of the dam was performed in a three-dimensional numerical modeling using Flow3D software. For this purpose, four different reservoir shapes were used in the plan, including a wide, trapezoidal, L-shaped and long reservoir with sidewall slopes of 30, 45, 60 and 90 °, taking into account the downstream dry bed. The results of three-dimensional numerical modeling showed that in all studied reservoirs, by decreasing the lateral slope of the reservoir wall, water level fluctuations increased due to the formation of two negative waves that spread on the slope of the reservoir wall and reached the central line of the reservoirs. Moreover, the effect of the geometric shape of wide and trapezoidal reservoirs on the flow characteristics due to dam failure was greater than the effect of reducing the slope of the sidewall of these reservoirs. While in long and L-shaped reservoirs, reducing the slope of the sidewall of these tanks has a great effect on the flow characteristics due to dam failure.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



Introduction

Dams are important structures built primarily for water and energy supply. The dam break creates a catastrophic flow leading to flooding in downstream. Despite all efforts to improve the safety of dams, dam break can occur due to insufficiency of overflow, earthquake and defect of the foundation and other factors. The current flows caused by the dam failure can cause serious damage to urban, residential areas or agricultural lands downstream of the dam. Due to the high cost of modeling complex phenomena in the laboratory, numerical simulations have received a lot of attention in this field today. According to literature review in the field of dam failure, assessing the simultaneous effect of the geometric shape of the reservoirs and the slope of its side wall on the flow characteristics due to the failure of the dam has not been comprehensively studied. For this reason, determination of the characteristics of the dam break, including the depth of flow and the velocity of wave propagation, is important. In this study, the simultaneous effects of the geometric shape of the reservoir on the plan and the slope of the sidewall of the reservoir on the characteristics of flows due to dam break were investigated.

Materials and Methods

In this study, according to the existing conditions, the boundary condition of the wall for the upstream end of the channel, channel floor and walls, the boundary condition of symmetry for the free surface of the fluid and at the intersecting boundaries of the two solution networks, the boundary condition of the outflow stream for the downstream outlet. The same boundary conditions were applied for acceptable comparison. Also, in order to provide equal initial conditions in the simulations and the possibility of logical comparison, the volume of water available in all cases was the same and equal to 0.714 m³, the lower bed of the dry valve and the slope of the floor in all cases were considered horizontal. 3D numerical modeling was performed using the Flow3D software. Four different reservoir shapes, namely wide reservoir, trapezoidal reservoir, L-shaped reservoir, and long reservoir with sidewall slopes of 30, 45, 60 and 90° were used regarding the dry bed downstream. Mesh sizes 0.01, 0.03, 0.05, and 0.1 m were applied to the model to analyze the mesh size sensitivity of the numerical model. Besides the mesh size sensitivity analysis, the sensitivity

analysis of the model to turbulence models was also performed. Through applying each of the mesh sizes, the water level changes at two points G2 (inside the tank) and point G7 (inside the downstream canal) were compared with the laboratory values in the canal with a long tank with zero floor slope (horizontal bed). In order to quantitatively compare the results of the numerical model with laboratory values, two criteria of relative error percentage (E%) and root mean square error (RMSE) were used. Obviously, the lower the E% and RMSE values, the more accurate the numerical model and the lower the error than the laboratory values. In addition to the sensitivity analysis of the mesh size model, the sensitivity analysis of the model to turbulence models was also performed.

Results

According to the results, in reservoirs with wide and trapezoid geometry, due to the geometric shape, cross-waves are formed in the channel connected to these reservoirs and cause severe fluctuations in the water level of different parts of the downstream channel. In all the cases studied in this research, after opening the valve, a sharp drop in water level occurs in the form of steps at point G2, and then decreases in a consecutive time decreasing. Comparison of water level at G2 point and in the studied reservoirs shows that the highest water level level occurred between all reservoirs and in all lateral slopes for G2 point and in wide reservoir. While in long and L-shaped reservoirs, much fewer fluctuations occur due to the reservoir and the downstream channel alignment. In all studied reservoirs, water level fluctuations increased in different parts of the downstream channel and points inside the reservoir, decreasing the lateral slope of the reservoir wall. The effect of fluctuations on the water level caused by this factor in different parts of the downstream channel connected to long and L-shaped reservoirs is more than wide and trapezoidal reservoirs. However, the geometric shape of the reservoirs is a factor influencing the fluctuations in wide and trapezoidal reservoirs. In addition, variations in the in-depth velocity profiles at different downstream channel points connected to different reservoirs with different lateral slopes showed that with decreasing the slope of the sidewall of the reservoirs, the average velocity increased at the downstream points of the gate. It reached its maximum value at an angle of 30° to the reservoir's sidewall. Finally,

changes in the flow hydrograph at the gate location showed that the flow rate decreases with decreasing angle of the reservoir sidewall in wide and trapezoidal reservoirs; however, the flow rate increases in long and L-shaped reservoirs.

Conclusion

The numerical 3D modeling indicated that in all studied reservoirs with reducing the lateral slope of the reservoir wall, water level fluctuations caused by the formation of two negative waves spread on the slope of the reservoir wall were increased at the central line of the congested reservoirs. Additionally, the effect of the geometric shape of wide and trapezoidal reservoirs on the flow characteristics of dam break was more than the effect of reducing the slope of the sidewall of these reservoirs; however, in long and L-shaped reservoirs, reduction of the slope of the sidewall of these

reservoirs significantly affected the flow characteristics of the dam break. The changes in velocity profiles in depth at different points of the downstream channel connected to different tanks with different lateral slopes showed that with decreasing slope of the side wall of the tanks, the average flow velocity at the downstream points of the valve increased and at an angle of 30° to the side wall of the tank reaches to its maximum value.

Data Availability

The supporting data can be sent by e-mail upon request to the responsible author.

Conflicts of Interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله پژوهشی

بررسی عددی تأثیر هم‌زمان شیب دیواره کناری و شکل هندسی مخزن بر خصوصیات سیلاب ناشی از شکست سد در حالت بستر خشک

علیرضا اسدپور اردبیلی^۱ و اتابک فیضی^{۲*}

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
^۲دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

چکیده

سدها جزو سازه‌هایی هستند که علیرغم اثرات محیط‌زیستی عمدتاً به منظور تأمین آب و انرژی ساخته می‌شوند. شکست سد سبب ایجاد جریان عظیمی می‌شود که سیلاب در نواحی پایین دست را به دنبال دارد. به همین دلیل تعیین خصوصیات جریان شکست سد از جمله عمق جریان و سرعت انتشار موج از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش تأثیر هم‌زمان شکل هندسی مخزن در پلان و شیب دیواره کناری مخزن بر الگو و چگونگی حرکت موج سیلابی ناشی از شکست سد به صورت مدل‌سازی عددی سه‌بعدی با استفاده از نرم‌افزار Flow3D انجام شد. بدین منظور از چهار شکل مختلف مخزن در پلان شامل مخزن عریض، دوزنقه‌ای، L شکل و طویل با شیب‌های دیواره کناری ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰° و با در نظر گرفتن بستر خشک پائین دست استفاده شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی سه‌بعدی عددی بیانگر این بود که در تمامی مخازن مورد مطالعه با کاهش شیب کناری دیواره مخزن، نوسانات سطح آب به دلیل تشکیل دو موج منفی که بر روی شیب دیواره مخزن گسترش یافته و در محل خط مرکزی مخازن به هم رسیده، افزایش یافته است. همچنین تأثیر شکل هندسی مخازن عریض و دوزنقه‌ای بر روی خصوصیات جریان ناشی از شکست سد، بیشتر از تأثیر کاهش شیب دیواره کناری این مخازن بوده است. در حالی که در مخازن طویل و L شکل، کاهش شیب دیواره کناری این مخازن تأثیر فراوانی بر روی خصوصیات جریان ناشی از شکست سد دارد.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۲/۲۵]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۳/۳۱]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۴/۰۱]

واژه‌های کلیدی:

شکست سد

مدل‌سازی سه‌بعدی

هندسه مخزن

شیب دیواره کناری مخزن

*نویسنده مسئول:

a_feizi@uma.ac.ir

۱- مقدمه

می‌تواند سبب بروز آسیب‌های جدی به مناطق شهری یا زمین‌های کشاورزی واقع در پایین دست سد شود. به دلیل هزینه بالای مدل‌سازی پدیده‌های پیچیده به صورت آزمایشگاهی، امروزه شبیه‌سازی‌های عددی در این زمینه

سدها از جمله سازه‌هایی هستند که برای ذخیره آب به منظور تولید برق، آبیاری و مهار سیلاب ساخته می‌شوند. با وجود تمام تلاش‌ها برای ارتقاء امنیتی سدها، گاهی به علت عدم کفایت سرریز، زلزله و نقص فونداسیون و عوامل دیگر می‌تواند شکست سد اتفاق افتد. جریان ناشی از شکست سد

۱۰٪ است، در عمل مدل‌های دوبعدی نیز قابل استفاده می‌باشند. Costabile et al. (2015) پیشروی موج در رودخانه را در دو حالت وجود و عدم وجود پایه در پایین دست بررسی کردند. در این پژوهش بیان شد که به علت مقطع عرضی مستطیلی شکل در اغلب رودخانه‌ها، می‌توان مدل یک‌بعدی را برای پیش‌بینی موج جریان پیشنهاد داد. Tahershamsi et al. (2017) به بررسی تأثیر هم‌زمان شکل هندسی مخازن مختلف و نسبت بازشدگی‌های متفاوت بر روی دبی پیک ناشی از شکست سد پرداختند. در مطالعه دیگری Hooshyaripor et al. (2017) تحلیل اثرات طول و حجم مخزن بر مشخصات جریان ناشی از شکست سد را انجام دادند. Javadian et al. (2016) پدیده شکست سد را به‌طور آزمایشگاهی بررسی کرده و نتایج آن را با حل تحلیلی معادلات سنت و نانت مقایسه کردند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، بین داده‌های آزمایشگاهی و حل تحلیلی سنت و نانت انطباق قابل قبولی وجود داشت. Amini et al. (2017) به بررسی شکست سد وحدت در استان کردستان و نحوه گسترش سیلاب ناشی از آن پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که انتخاب نوع شکست سد بر خصوصیات هیدرولیکی جریان ایجادشده به‌وسیله آن در رودخانه پایین دست سد قابل توجه است. Feizi (2018) هیدرودینامیک جریان شکست سد را در حالت وجود مانع استوانه‌ای در پایین دست یک کانال بررسی کرد. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر تأثیر موضعی مانع استوانه‌ای بر روی نوسانات سطح آب است. Monteiro et al. (2019) به بررسی عددی تأثیر چگونگی در نظر گرفتن فشار سیال در جریان‌های چندفازه در مسئله شکست سد پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که در مسئله شکست سد با در نظر گرفتن فشار کل به‌جای فشار هیدرواستاتیک نتایج بهتری حاصل می‌شود. Miraki et al. (2020) به بررسی خصوصیات سیلاب ناشی از شکست سد وحدت در استان کردستان در محل‌هایی که سطح مقطع رودخانه به دلیل فعالیت‌های انسان تغییر یافته با استفاده از مدل HEC-RAS پرداختند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر کاهش قابل توجه ظرفیت عبور جریان در محل پل گریزه و خاک‌ریزهای مورد مطالعه در این پژوهش بود.

Issakhov and Imanberdiyeva (2020) جریان سه‌بعدی شکست سد را با استفاده از مدل‌سازی عددی بررسی کرده و نحوه حرکت سطح آب را در حالت وجود مانع دوزنقه‌ای در

بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. (Wrachien and Mambretti 2009; Issakhov et al. 2018).

Soares and Zech (2002) در پژوهشی به بررسی شکست سد در خم 90° با استفاده از بستر خشک و کانال مستطیلی شکل جهت اندازه‌گیری جریان از دوربین‌های سرعت‌بالا استفاده نمودند. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که مدل دوبعدی کامل نتایج بهتری را در خم 90° از خود نشان می‌دهد. Soares (2007) پیشروی موج ناشی از شکست سد و تأثیر مانع پایین دست بر الگوی جریان را در یک کانال مثلی شیب‌دار با بستر خشک را به‌طور آزمایشگاهی بررسی کرد. در این پژوهش، برای به دست آوردن تراز سطح آب از گیج‌های مقاومتی و دوربین‌های دیجیتالی با سرعت‌بالا استفاده شد. مقایسه نتایج نشان داد که مقادیر به‌دست‌آمده برای تراز سطح آب از هر دو وسیله بسیار نزدیک به یکدیگر هستند. Soares and Zech (2007) در مطالعه دیگری به بررسی تأثیر مانع پایین دست روی موج ناشی از شکست سد به‌صورت آزمایشگاهی پرداختند. نتایج نشان داد که با برخورد موج به مانع، جریان منحرف شده و پرش هیدرولیکی شکل می‌گیرد و پشت مانع نیز یک ناحیه چرخشی ایجاد می‌شود. Ozmen- Cagatay and Kocaman (2011) جریان ناشی از شکست سد را در یک کانال با بستر خشک و مانع دوزنقه‌ای شکل واقع در پایین دست آن، به‌صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی کردند. طبق نتایج به‌دست‌آمده، پشت مانع یک جریان ترکیبی از جریان پیشروند و برگشتی شکل می‌گیرد.

Feizi et al. (2012) تأثیر شکل هندسی مخازن بر جریان ناشی از شکست سد را در دو حالت بستر خشک و مرطوب مطالعه کردند. نتایج حاصله نشان داد که مخازن طویل و L شکل دارای روندی مشابه به‌هم بوده و جریان یک‌بعدی ایجاد می‌کنند درحالی‌که در مخازن عریض و دوزنقه‌ای، جریان دوبعدی الگوی جریان غالب است. Aureli et al. (2015) تأثیر مانع پایین دست را بر روی موج ناشی از شکست سد بررسی کردند. نتایج به‌دست‌آمده بیانگر آن بود که مدل‌های سه‌بعدی موج ناشی از شکست سد را دقیق‌تر شبیه‌سازی می‌کنند درحالی‌که مدل‌های دوبعدی مبتنی بر SWE^1 قادر به پیش‌بینی دقیق نقطه پیک هیدروگراف در موج‌های بزرگ نبودند ولی چون اختلاف آن با داده‌های آزمایشگاهی حدود

¹Shallow Water Equation

به کمک مدل سازی سه بعدی با استفاده از نرم افزار Flow3D به بررسی نحوه تأثیر همزمان دو عامل شکل هندسی مخازن در پلان و شیب جداره جانبی آن بر روی جریان ناشی از شکست سد پرداخته شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- معادلات هیدرودینامیک حاکم

معادلات حاکم بر جریان تراکم ناپذیر و جریان ویسکوز عبارتند از معادلات بقای جرم (رابطه ۱) و ممنتوم که معادلات Navier-Stokes نامیده می شوند. از آنجایی که جریان از نوع آشفته می باشد، لازم است به معادلات دیفرانسیلی Navier-Stokes ترم آشفتگی نیز اضافه گردد. بدین منظور از میانگین گیری رینولدز معادلات Navier-Stokes، (روابط ۲-۴)، در مختصات کارتزین (x,y,z) استفاده می شود (Toro 2001).

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{W}}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{U}}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial \bar{U}}{\partial z} \right] = \rho g_x - \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{U} \left[-\rho \left[\frac{\partial \bar{U}^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{U}\bar{V}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{U}\bar{W}}{\partial z} \right] \right] \quad (2)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{V}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{V}}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial \bar{V}}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial \bar{V}}{\partial z} \right] = \rho g_y - \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} + \mu \nabla^2 \bar{V} \left[-\rho \left[\frac{\partial \bar{U}\bar{V}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}^2}{\partial y} + \frac{\partial \bar{V}\bar{W}}{\partial z} \right] \right] \quad (3)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{W}}{\partial t} + \bar{U} \frac{\partial \bar{W}}{\partial x} + \bar{V} \frac{\partial \bar{W}}{\partial y} + \bar{W} \frac{\partial \bar{W}}{\partial z} \right] = \rho g_z - \frac{\partial \bar{P}}{\partial z} + \mu \nabla^2 \bar{W} \left[-\rho \left[\frac{\partial \bar{U}\bar{W}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{V}\bar{W}}{\partial y} + \frac{\partial \bar{W}^2}{\partial z} \right] \right] \quad (4)$$

طویل با در نظر گرفتن چهار زاویه کناری (α)، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰° صورت پذیرفت. ابعاد و اندازه هندسه مدل در شکل (۱) و جدول (۱) نشان داده شده است. همچنین مختصات نقاطی که بررسی نتایج در آنها صورت گرفته نیز در جدول (۲) ارائه شده است. در این پژوهش و برحسب شرایط موجود، شرط مرزی دیوار برای انتهای بالادست کانال، کف کانال و دیواره ها، شرط مرزی تقارن برای سطح آزاد سیال و در مرزهای به هم چسبیده دو شبکه حل، شرط مرزی جریان خروجی برای خروجی پایین دست کانال استفاده گردید. برای مقایسه قابل قبول شرایط مرزی در نظر گرفته شده یکسان اعمال شد. همچنین به منظور ایجاد شرایط اولیه برابر در شبیه سازی ها و امکان مقایسه منطقی، حجم آب موجود در همه حالت ها یکسان و برابر با ۰/۷۱۴ m³، بستر پایین دست دریاچه خشک و شیب کف در تمامی حالت ها افقی در نظر گرفته شد.

پایین دست مطالعه کردند. (Kocaman et al. (2020) بررسی آزمایشگاهی و عددی جریان ناشی از شکست سد در حالت های مختلف انقباض مسیر جریان پرداختند. در پژوهش انجام شده، سه نوع حالت انقباض مسیر جریان در نظر گرفته شده و مشخصات جریان برای هر سه حالت ارائه شد. (Najar and Gul (2022) در پژوهشی به بررسی تأثیر پارامترهای شکافت سد Ürkmez بر روی بیشینه هیدروگراف سیلاب ایجاد شده با استفاده از ورژن دوبعدی نرم افزار HEC-RAS پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد پارامتر زمان شکافت از عوامل مؤثر بر دبی بیشینه و زمان رسیدن به آن است.

نتایج حاصل از مروری بر کارهای انجام شده در زمینه شکست سد نشان داد که تاکنون تأثیر همزمان شکل هندسی مخازن و شیب جداره جانبی آن بر روی خصوصیات جریان ناشی از شکست سد به صورت جامع مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین، در این پژوهش

که، $\bar{U}, \bar{V}, \bar{W}$ به ترتیب سرعت متوسط در راستای x, y, z، g_x, g_y, g_z به ترتیب شتاب گرانشی در راستای محورهای مختصات می باشند. در معادلات فوق ترم (۱) به ترم انتقال، ترم (۲) به ترم های چشمه، ترم (۳) به ترم پخش و ترم آخر (۴) به ترم تنش های رینولدز معروف می باشند. برای حل معادلات فوق از روش حجم محدود و نرم افزار FLOW 3D (FLOW 3D User's Manual 2011) استفاده شد.

۲-۲- مدل سازی

اطلاعات مورد استفاده جهت تهیه مدل ها، کالیبراسیون و همچنین انجام مقایسه ها از پژوهش انجام گرفته توسط Feizi et al. (2012) استفاده شد. شبیه سازی های انجام شده در این پژوهش بر روی چهار شکل مخزن در پلان عریض، دوزنقه ای، L شکل و

جدول ۱- ابعاد و اندازه هندسه مخازن با در نظر گرفتن شیب دیواره‌های کناری مختلف

Table 1 Dimensions and size of reservoirs geometry regarding to the slope of different side walls

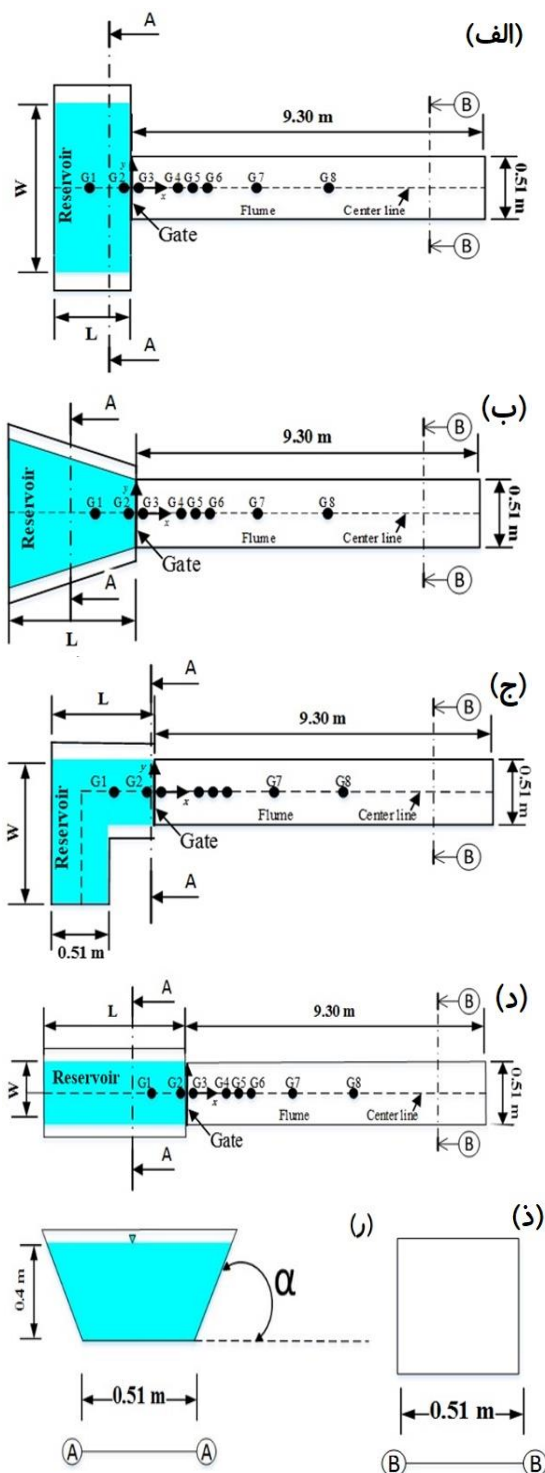
Geometry of Reservoir	Reservoir side slope (α)	W(m)	L(m)
Wide	30	3.4	0.66
	45	2.8	0.74
	60	2.46	0.8
	90	2	0.89
Trapezoidal	30	2.51	1.18
	45	2.07	1.38
	60	1.79	1.55
	90	1.5	1.79
Long	30	1.9	1.48
	45	1.31	1.96
	60	0.97	2.41
	90	0.51	3.5
L shape	30	1.86	1.35
	45	1.71	1.63
	60	1.62	1.88
	90	1.5	2.5

جدول ۲- مختصات کارترین نقاط مورد بررسی در مخازن و کانال پایین دست متصل به آن

Table 2 Cartesian coordinate of the study points in the reservoirs and downstream channel connected to it

Gauge	x (m)	y (m)
G1	-0.5	0
G2	-0.1	0
G3	0.1	0
G4	0.8	0
G5	1.0	0
G6	1.2	0
G7	3.0	0
G8	5.5	0
G9	8.0	0

به منظور آنالیز حساسیت مدل عددی به اندازه مش، مش‌هایی با اندازه ۰/۱، ۰/۰۳، ۰/۰۵، ۰/۱ m به مدل مورد نظر اعمال شد. از آنجایی که نتایج آنالیز حساسیت مدل عددی به اندازه مش برای تمامی حالت‌ها یکسان بود، نتایج در این قسمت فقط برای مخزن طویل با دیواره قائم ارائه گردید. با اعمال هر کدام از اندازه‌های مش، تغییرات سطح آب در دو نقطه G2 (داخل مخزن) و نقطه G7 (داخل کانال پایین دست) با مقادیر آزمایشگاهی در کانال با مخزن طویل با شیب کف صفر (بستر افقی) مقایسه شد. به منظور مقایسه کمی نتایج مدل عددی با مقادیر آزمایشگاهی، از دو معیار درصد خطای نسبی (E%) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد. بدیهی است هر چه مقدار E% و RMSE کمتر باشد نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل عددی و خطای کمتر



شکل ۱- شماتیکی از ابعاد، اندازه مدل و هندسه مقاطع عرضی مخازن و کانال پایین دست با شیب دیواره‌های مختلف مخازن: الف- عریض، ب- دوزنقه‌ای، ج- L شکل، د- طویل، ذ- مقطع عرضی کانال، و ر- مقطع عرضی مخزن

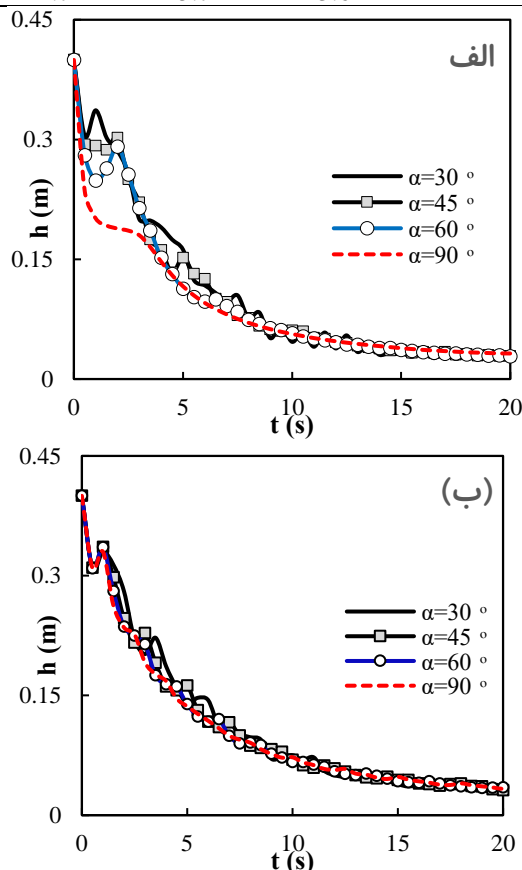
Fig. 1 Schematic of the dimensions, model size and geometry of cross sections of the reservoirs and the downstream channel with the slope of the different reservoir walls: a) wide, b) Trapezoidal, c) L-shaped, d) long, e) flume cross section, and f) reservoir cross section

مش‌هایی با اندازه 0.1 m در هر سه راستای x ، y و z به‌عنوان مش مناسب جهت انجام شبیه‌سازی‌های بعدی انتخاب شد. همچنین نتایج جدول (۳) بیانگر این بود که به دلیل نزدیکی درصد خطاهای مدل‌های آشفتگی مورد بررسی و همچنین توصیه راهنمای نرم‌افزار Flow3D در مدل‌سازی‌های شکست سد، مدل RNG، مدل مناسب آشفتگی برای بررسی پدیده شکست سد انتخاب گردید، (FLOW 3D User's Manual 2011).

نسبت به مقادیر آزمایشگاهی خواهد بود. علاوه بر آنالیز حساسیت مدل به‌اندازه مش، آنالیز حساسیت مدل نسبت به مدل‌های آشفتگی نیز انجام شد. با به‌کارگیری سه مدل آشفتگی مشهور $k-\omega$ ، $k-\varepsilon$ - standard و $k-\varepsilon$ - RNG، تغییرات سطح آب در دو نقطه G2 و G7 با مقادیر آزمایشگاهی در کانال با مخزن طویل و شیب کف افقی مخزن مقایسه شد. در جدول (۳) مقادیر خطا در نقاط G2 و G7 نسبت به‌اندازه مش و همچنین مدل‌های آشفتگی ارائه شده است. با توجه به مقادیر به‌دست‌آمده در جدول (۳)،

جدول ۳- مقایسه کمی نتایج مدل عددی سه‌بعدی با مقادیر آزمایشگاهی با در نظر گرفتن اندازه‌های مختلف مش و مدل‌های آشفتگی
Table 3 Quantitative comparison of 3D numerical model results with experimental values regarding to different mesh sizes and turbulence models

Turbulence model			Mesh size (m)				Point
K-w	RNG	K-e	0.01	0.03	0.05	0.1	
0.0052	0.0054	0.0055	0.0054	0.0059	0.0121	0.0166	RMSE
4.9	5.4	6.3	5.4	6.9	12.5	13.7	E%
0.0028	0.0027	0.0022	0.0028	0.0028	0.0047	0.0061	RMSE
4.7	5.7	3.6	5.7	5.5	9.5	10.2	E%



شکل ۲- تأثیر شیب کناره‌های مخزن بر تغییرات سطح آب با وجود بستر خشک پایین‌دست دریچه در نقطه G2: الف) دریچه عریض و ب) دریچه طویل

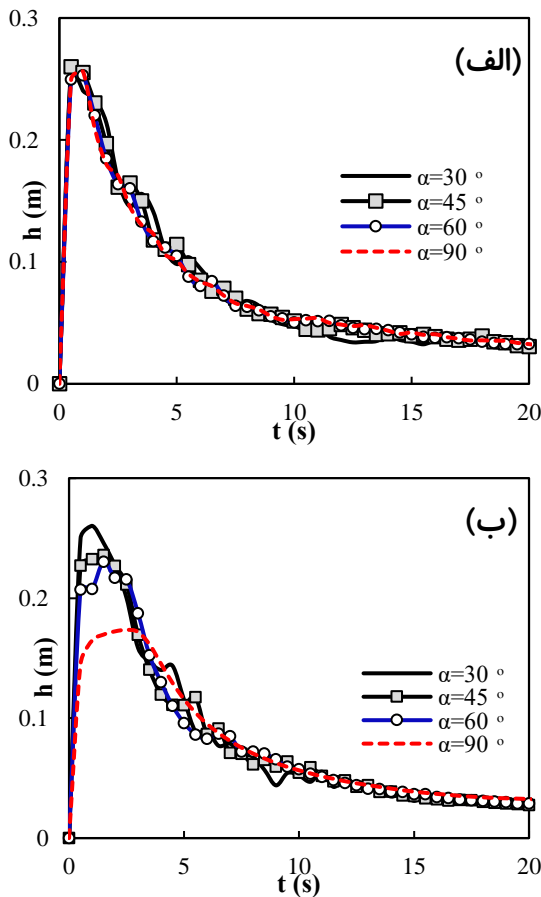
Fig. 2 Effect of the side slope of the reservoir on water level variations considering the dry bed downstream of the gate at point G2: a) wide reservoir and b) long reservoir

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- بررسی روند تغییرات سطح آب

از آنجایی که روند تغییرات مخزن دوزنقه‌ای شکل مشابه مخزن عریض و همچنین روند مخزن L شکل مشابه با مخزن طویل است، نتایج برای دو مخزن عریض و طویل در نمودارها ارائه شدند. شکل‌های (۲) تا (۴)، تأثیر شیب کناره‌های مخزن بر تغییرات تراز سطح آب در مخازن عریض و طویل را در نقاط G2، G3 و G7 نشان می‌دهند. نتایج حاصله بیانگر این است که در نقطه G2 (نقطه‌ای داخل مخزن)، در تمامی مخازن مورد مطالعه با کاهش شیب کناری دیواره مخزن، نوسانات سطح آب افزایش می‌یابد. علت این نوسانات، وجود الگوی جریان متفاوت در نقاط داخلی مخزن در دو حالت دیواره قائم و شیب‌دار کناری مخزن است. بدین‌صورت که زمانی که دیواره قائم باشد، یک موج منفی در داخل مخزن ایجاد می‌شود درحالی‌که در بقیه موارد، دو موج منفی ایجاد می‌شوند که بر روی شیب دیواره مخزن گسترش می‌یابند و این دو موج در محل خط مرکزی مخزن به یکدیگر می‌رسند. این برخورد باعث ایجاد نوسانات در تغییرات سطح آب در کانال پایین‌دست می‌شود. در تمامی حالت‌های مورد بررسی در این پژوهش در نقطه G2 پس از باز شدن دریچه افت شدیدی در سطح آب به‌صورت پله ایجاد می‌شود و سپس به‌صورت نزولی سطح آب با زمان کاهش می‌یابد

ایجاد می‌شود. به نظر می‌رسد که علاوه بر تغییرات مشخصات جریان در عرض، تغییرات شدیدی در عمق نیز وجود دارد.



شکل ۳- تأثیر شیب کناره‌های مخزن بر تغییرات سطح آب با وجود بستر خشک پایین‌دست دریاچه در نقطه G3. الف- مخزن عریض و ب- مخزن طولیل

Fig. 3 Effect of the side slope of the reservoir on water level variations considering the dry bed downstream of the gate at point G3: a) wide reservoir and b) long reservoir

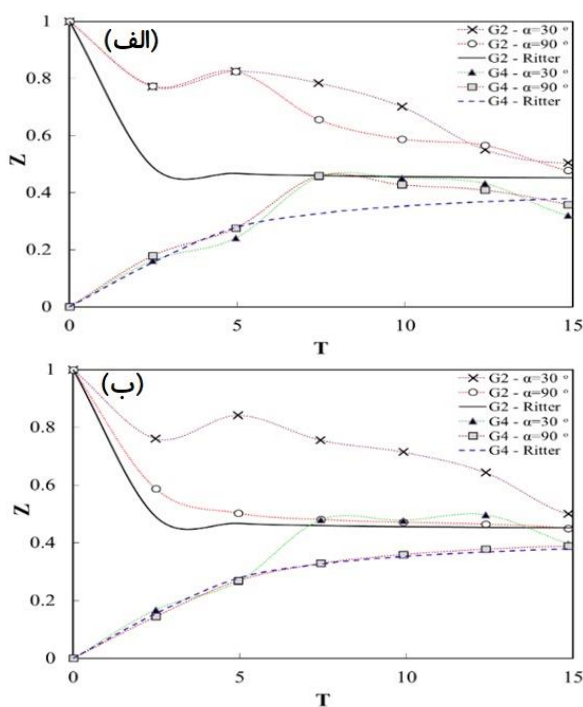
شکل (۴)، تغییرات سطح آب را در نقطه G7 (نقطه‌ای پایین‌دست دریاچه) برای مخزن عریض و طولیل با زاویه‌های متفاوت دیواره کناری مخزن نشان می‌دهد. همان‌طوری که مشاهده می‌شود در نقاط پایین‌دست دریاچه، با کاهش شیب دیواره مخزن، تراز سطح آب و نوسانات روی آن در تمامی مخازن مورد مطالعه افزایش می‌یابد و در زاویه 30° بیش‌ترین تراز سطح آب مشاهده می‌شود. تأثیر زاویه دیواره کناری بر روی تراز سطح آب در نقاط نزدیک به دریاچه بیش‌تر از نقاط دیگر می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد در مخزن عریض و دوزنقه‌ای در حالت دیواره قائم مخزن، نوساناتی در سطح آب مشاهده می‌شود که این نوسانات در مخازن طولیل و L شکل وجود ندارد. شدت این نوسانات در حالت دیواره قائم مخزن

. مقایسه تراز سطح آب در نقطه G2 و در مخازن مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیش‌ترین تراز سطح آب بین تمامی مخازن و در تمامی شیب‌های کناری مورد بررسی برای نقطه G2 و در مخزن عریض اتفاق افتاده است. همچنین با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در مخزن عریض، زاویه‌های دیواره کناری بر مقدار بیش‌ترین تراز سطح آب تأثیری نداشته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده استنباط می‌شود که در مخازن دوزنقه‌ای، طولیل و L شکل با کاهش زاویه دیواره کناری مخزن از 90° به 30° و در لحظات اولیه بعد از باز شدن دریاچه (تقریباً ۵s بعد از باز شدن دریاچه)، تراز سطح آب در حال افزایش می‌باشد و بعد از این مدت تغییر تراز سطح آب با تغییر زاویه دیواره کناری مخزن تفاوت فراوانی نمی‌کند.

شکل (۳)، تغییرات سطح آب را در نقطه G3 (نقطه‌ای بلافاصله در پایین‌دست دریاچه) برای مخزن عریض و طولیل با زاویه‌های متفاوت دیواره کناری مخزن نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود در نقطه G3، پس از دریاچه با باز شدن آن، در تمامی حالت‌ها سطح آب به‌سرعت افزایش می‌یابد تا به حداکثر خود برسد، سپس حالت نزولی پیدا می‌کند. در تمامی مخازن مورد مطالعه با کاهش شیب کناری دیواره مخزن، نوسانات سطح آب در این نقطه نیز افزایش می‌یابد. در مخزن عریض به دلیل کاهش زاویه دیواره کناری مخزن تفاوت فراوانی در تراز سطح آب با تغییر شیب کناری دیده نمی‌شود. ولی در مخازن دیگر علاوه بر وجود نوسانات، با کاهش زاویه دیواره کناری مخزن تراز سطح آب نیز افزایش پیدا می‌کند.

مقایسه ترازهای به‌دست‌آمده برای سطح آب نشان می‌دهد که حداکثر تراز سطح آب در مخزن عریض در زاویه دیواره کناری 30° ، تفاوت فراوانی نسبت به بالاترین تراز سطح آب در مخازن دوزنقه‌ای، طولیل و L شکل ندارد. ولی این تفاوت در زاویه دیواره کناری قائم به ترتیب 16 ، 19 و 18% نسبت به حالت مشابه در مخازن دوزنقه‌ای، طولیل و L شکل بالاتر می‌باشد. در عین حال افت سطح آب نسبت به زمان به‌واسطه مخزن عریض سریع‌تر اتفاق می‌افتد. مقایسه نمودارهای سطح آب در نقاط G2 و G3 بیانگر آن است که ماکزیمم تراز آب ایجادشده پس از دریاچه با تغییرات سطح آب قبل از دریاچه متناظر می‌باشد و از لحاظ کمی نیز دارای مقادیر مشابهی هستند. کلیه نمودارهای تغییر سطح آب نشان‌دهنده آن است که تغییرات ناگهانی در سطح آب در نزدیکی دریاچه

عریض و دوزنقه‌ای با دیواره کناری قائم، به دلیل ایجاد امواج متقاطع^۱، تغییرات سطح آب به صورت نوسانی بوده و این نوسانات تا انتهای فلوام ادامه پیدا می‌کند و عمده نوساناتی که در سطح آب این مخازن دیده می‌شوند ناشی از شکل هندسی این مخازن است و تغییر شیب دیواره کناری این مخازن تأثیر زیادی بر افزایش شدت نوسانات این مخازن نداشته است. در پژوهش انجام شده توسط Feizi et al. (2012)، دیواره‌های جانبی مخازن به صورت قائم است و نتایجی که در این پژوهش برای تغییرات سطح آب در حالت دیواره قائم به دست آمده با مقادیر پژوهش مذکور تطابق مناسبی دارد.



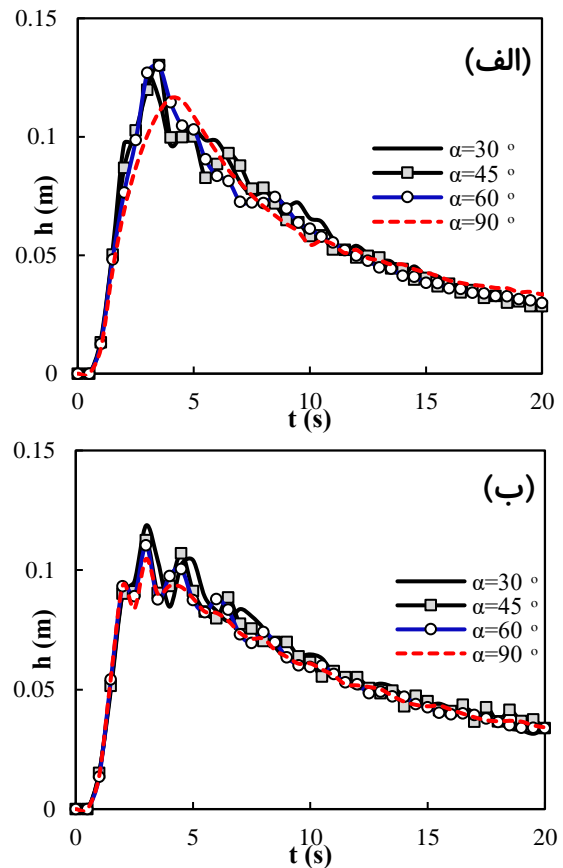
شکل ۵- مقایسه تراز آب به دست آمده از حل تحلیلی ریتر و مدل عددی سه بعدی با شیب دیواره کناری مختلف در نقاط G2 و G4.

(الف) مخزن عریض و (ب) مخزن طولیل

Fig. 5 Comparison of the water level from the analytical Ritter solution and the 3D numerical model with a different sidewall slope at points G2 and G4: a) wide reservoir and b) long reservoir

شکل (۵)، مقایسه تراز آب به دست آمده از حل تحلیلی ریتر و مدل عددی سه بعدی در مخازن عریض و طولیل با شیب دیواره کناری مختلف در نقاط واقع بر روی محور مرکزی مخزن و فلوام یعنی G2 و G4 را نشان می‌دهد. در این نمودارها مقادیر بی بعد Z در برابر T ترسیم شده است. نتایج عددی تراز آب با حل تحلیلی ریتر در محدوده $T = 0$ تا

برای مخزن عریض شدیدتر از مخزن دوزنقه‌ای شکل است. دلیل این نوسانات ناشی از شکل این گونه مخازن می‌باشد. چون پس از باز شدن ناگهانی دریچه امواجی از نوع (Surge) ایجاد می‌شود، به علت کوتاه بودن طول مخزن این امواج می‌توانند دارای رفت و برگشت در طول مخزن باشد. در حالی که در مخازن طولیل و L شکل این نوع امواج در طول مخزن مستهلک می‌شوند. بنابراین با تجزیه و تحلیل داده‌های استخراج شده از خروجی نرم افزار برای پروفیل موج مثبت حاصل از شکست سد، چنین نتیجه گرفته می‌شود که در مخازن طولیل و L شکل با دیواره کناری قائم، موج شکل گرفته حالت هموار دارد و بدون تشکیل جت قارچی شکل به سمت پایین دست حرکت می‌کند.



شکل ۴- تأثیر شیب کناره‌های مخزن بر تغییرات سطح آب با وجود بستر خشک پایین دست دریچه در نقطه G7: (الف) مخزن عریض و (ب) مخزن طولیل

Fig. 4: Effect of the side slope of the reservoir on water level variations considering the dry bed downstream of the gate at point G7: a) wide reservoir and b) long reservoir

با تغییر شیب دیواره کناری نوساناتی در سطح آب به دلایل گفته شده ایجاد می‌شود و شکل هندسی این مخازن در تشکیل این نوسانات تأثیر فراوانی ندارد. ولی در مخازن

¹ Cross Waves

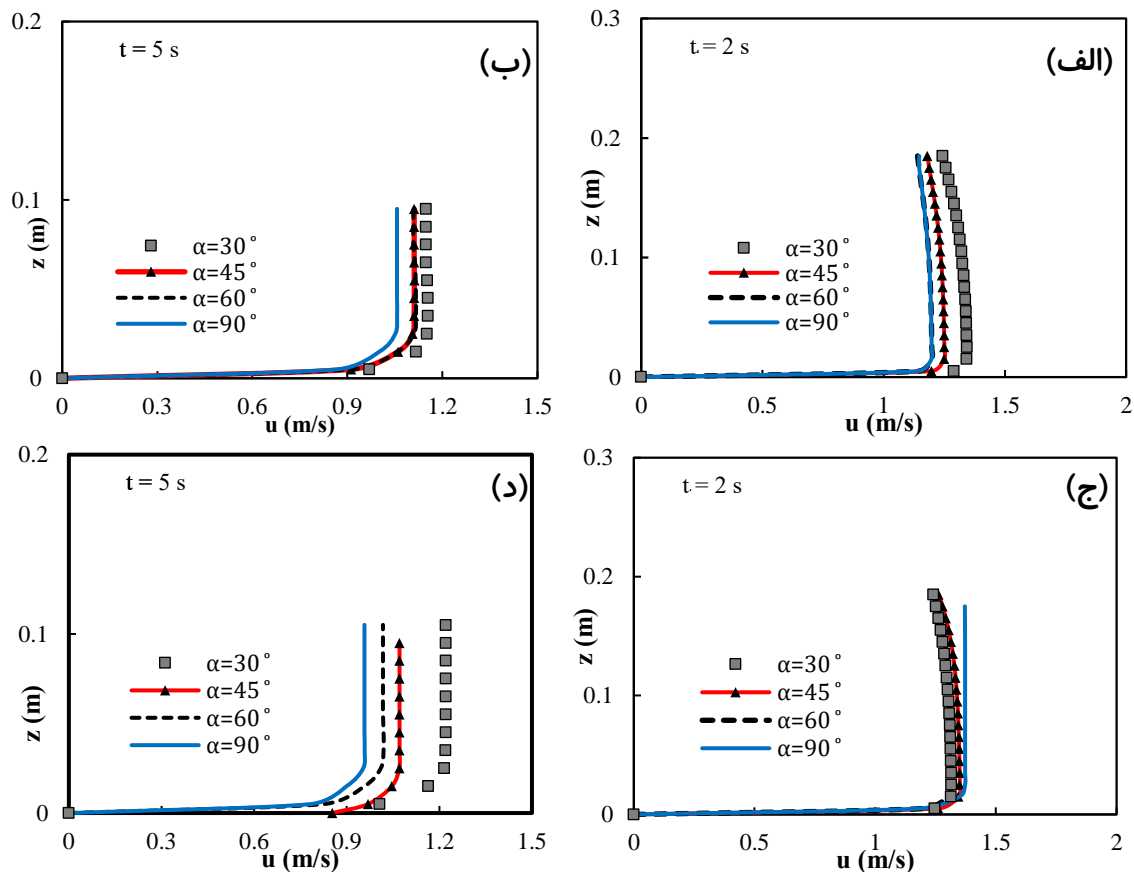
بیشترین و کمترین مقدار سرعت در مخزن عریض در نقطه G3 و در زمان $t=2s$ در حدود ۱۲ و در مخزن طویل در حدود ۴٪ می‌باشد. در همین زمان در نقطه G5 این اختلاف برای مخزن عریض به ۱۵ و در مخزن طویل به ۶٪ می‌رسد. با گذشت زمان و ۵s پس از باز شدن دریچه این اختلاف در نقطه G3 واقع در کانال متصل به مخزن عریض به یک درصد و در مخزن طویل ۱۹٪ می‌شود. در همین زمان این درصد اختلاف برای نقطه G5 نیز برای مخزن عریض به ۹ و در مخزن طویل ۱۴٪ است. علت افزایش اختلاف سرعت بین دیواره قائم و دیواره مخزن با زاویه 30° در مخزن طویل به این دلیل است که در مخزن طویل غالب جریان در حالت دیواره قائم، یک‌بعدی است و با تغییر زاویه دیواره مخزن، جریان از حالت یک‌بعدی خارج شده و نوساناتی ناشی از آن ایجاد می‌شود و در این مخزن تأثیر زاویه دیواره کناری مخزن بیش‌تر از شکل هندسی مخزن می‌باشد.

$T = 15$ قابل‌مقایسه می‌باشد چون بعدازاین محدوده، تغییرات تراز آب به علت تخلیه مخزن روند نزولی به خود می‌گیرد درحالی‌که در حل تحلیلی ریتز چون مخزن بی‌نهایت فرض شده این روند دیده نمی‌شود.

۳-۲- بررسی تغییرات پروفیل سرعت در عمق

شکل (۶)، مقایسه توزیع سرعت در عمق در فلوم متصل به مخازن عریض و طویل با شیب‌های کناری دیواره مختلف مخزن در زمان‌های ۲ و ۵s پس از باز شدن دریچه را نشان می‌دهند. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، در زمان ۲s پس از باز شدن دریچه در نقاط G3 و G5 مقدار سرعت در مخازن عریض و طویل در زاویه شیب کناری 30° بیش‌ترین مقدار را به‌دست آورده است.

به‌عبارتی با افزایش شیب کناری دیواره مخزن، سرعت خروجی از دریچه در پایین‌دست آن کاهش‌یافته و در حالت دیواره قائم مخزن به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد. اختلاف



شکل ۶- تأثیر شیب کناره مخزن بر تغییرات پروفیل سرعت در عمق با بستر خشک پایین‌دست، در نقاط G3 و G5: الف- مخزن عریض و $t = 2 s$ ، ب- مخزن عریض و $t = 5 s$ ، ج- مخزن طویل و $t = 2 s$ ، و د- مخزن طویل و $t = 5 s$

Fig. 6 Effect of the sidewall reservoir slope on variations of the depth velocity profile considering the downstream dry bed at points G3 and G5: a) wide reservoir, $t = 2 s$, b) wide reservoir, $t = 5 s$, c) long reservoir, $t = 2 s$, and d) long reservoir, $t = 5 s$

جدول (۴)، درصد اختلاف مقادیر تحلیلی ریتر با نتایج مدل عددی برای تغییرات تراز آب را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود در مخزن L شکل و مخزن طویل حل عددی به حل تحلیلی ریتر نزدیک‌تر است ولی در مخزن عریض بیش‌ترین اختلاف بین مقادیر تحلیلی و عددی وجود دارد. همچنین با کاهش شیب کناره مخزن اختلاف بین حل تحلیلی ریتر و مقادیر عددی افزایش می‌یابد.

۳-۳- تأثیر شیب کناره‌های مخزن بر هیدروگراف دبی و بیشینه ناشی از شکست سد در محل دریچه

با بررسی نتایج به‌دست‌آمده مشاهده می‌شود که در مخازن عریض و دوزنقه‌ای، با کاهش زاویه دیواره کناری مخزن، دبی عبوری کاهش می‌یابد ولی در مخازن طویل و L شکل افزایش دبی جریان ایجاد می‌گردد. بدین‌صورت که در مخزن عریض، دبی در زاویه‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰° به‌ترتیب ۸، ۶ و ۰/۱۶٪ و در مخزن دوزنقه‌های ۷، ۲ و ۱/۳٪ کم‌تر از دبی ایجادشده در زاویه ۹۰° است. همچنین برای مخزن L شکل، دبی جریان عبوری از محل دریچه در زاویه‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰° به‌ترتیب ۴۰، ۳۳ و ۲۳٪ و در مخزن طویل ۳۵، ۲۸ و ۲۰٪ بیش‌تر از حالت دیواره قائم کناری است.

ولی در مخزن عریض به دلیل شکل هندسی مخزن، جریان ایجادشده در پایین‌دست آن به‌صورت دوبعدی است و از ابتدا نوسانات ناشی از شکل هندسی این مخزن در کانال پایین‌دست ایجادشده است و تغییر شیب دیواره کناری مخزن هرچند که نوساناتی ایجاد می‌کند ولی نوسانات ایجادشده ناشی از شکل هندسی مخزن غالب بر آن بوده و تأثیر فراوانی بر روی مقادیر سرعت نگذاشته است. طبق نتایج به‌دست‌آمده، رفتار مخزن دوزنقه‌ای شبیه مخزن عریض و رفتار مخزن L شکل شبیه رفتار مخزن طویل است.

جدول ۴- درصد اختلاف تراز سطح آب بین مقادیر حل تحلیلی ریتر با نتایج مدل عددی سه‌بعدی برای مخازن با شیب دیواره کناری مخزن متفاوت در نقاط G2 و G4

Table 4 Percentage of the water level difference between the values of the analytical Ritter solution and the results of the 3D numerical model for reservoirs with a different slope of the reservoir sidewall at points G2 and G4

Geometry of Reservoir	Reservoir side slope (α)		
	G2	G4	
Wide	30	42	17
	90	34	14
Trapezoidal	30	41	18
	90	24	8
Long	30	44	19
	90	5	3
L shape	30	41	16
	90	6	3

جدول ۵- مقایسه دبی بیشینه پیش‌بینی‌شده در محل سد برای شیب‌های مختلف دیواره کناری مخزن در مخازن طویل و عریض توسط مدل عددی با مقادیر روابط تجربی

Table 5: Comparison of the maximum predicted discharge by the 3D numerical model and empirical relations in long and wide reservoirs at the dam site with a different slope of the reservoir sidewall

3D Numerical Simulation								Maximum Discharge (m ³ /s)	Relation	Reference
Wide Reservoir (°)				Long Reservoir (°)						
90	60	45	30	90	60	45°	30			
0.166	0.165	0.156	0.153	0.119	0.143	0.152	0.161	0.69	$Q_p = 1.154(V_w h_0)^{0.412}$	MacDonald and Langridge-Monopolis (1984)
								1.51	$Q_p = 1.776(V_w)^{0.47}$	Singh and Snorrason (1984)
								0.45	$Q_p = 0.763(V_w h_0)^{0.42}$	Costa (1985)
0.166	0.165	0.156	0.153	0.119	0.143	0.152	0.161	0.176	$Q_p = 0.607(V_w^{0.295} h_0^{1.24})$	Froehlich (1996)
								0.119	$\frac{Q_p}{A_0 \sqrt{g h_0}} = k \left(\frac{a}{A_0}\right) \left(\frac{8}{27}\right)^{\frac{a}{A_0}}$	Pilotti et al. (2010)

که، V_w حجم مخزن، h_0 عمق اولیه آب داخل مخزن و Q_p دبی بیشینه است. در رابطه Pilotti et al. (2010)، برای شرایطی که $a/A_0 \geq 0.3$ باشد، a/A_0 نسبت شکست، A_0 : سطح مقطع کل سد، a : سطح مقطع شکست و h_0 عمق آب در محل سد است.

۲- در تمامی مخازن مورد مطالعه با کاهش شیب کناری دیواره مخزن، نوسانات سطح آب در نقاط مختلف کانال پایین دست و همچنین نقاط داخل مخزن افزایش می یابد. تأثیر نوسانات ایجاد شده بر روی سطح آب ناشی از این عامل در نقاط مختلف کانال پایین دست متصل به مخازن طویل و L شکل بیش تر از مخازن عریض و دوزنقه ای شکل است. در حالی که در مخازن عریض و دوزنقه ای شکل، شکل هندسی مخازن عامل تأثیر گذار بر نوسانات می باشد.

۳- با کاهش شیب دیواره کناری مخازن، سرعت متوسط جریان در نقاط پایین دست دریچه افزایش یافته و در زاویه ۳۰° برای دیواره کناری مخزن به بیش ترین مقدار خود می رسد.

۴- تغییرات هیدروگراف جریان در محل دریچه نشان داد که در مخازن عریض و دوزنقه ای، با کاهش زاویه دیواره کناری مخزن، دبی عبوری کاهش می یابد ولی در مخازن طویل و L شکل افزایش دبی جریان مشاهده می شود.

دسترسی به داده ها

داده ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال می باشد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Amini, A., Arya, A., Eghbalzadeh, A., Javan, M. (2017). Peak flood estimation under overtopping and piping conditions at Vahdat Dam, Kurdistan Iran Arab. J. Geosci., 10(6), 127.
- Aureli, F., Dazzi, S., Maranzoni, A., Mignosa, P. and Vacondio, R. (2015). Experimental and numerical evaluation of the force due to the impact of a dam-break wave on a structure. Adv. Water Resour., 76, 29-42. DOI:10.1016/j.advwatres.2014.11.009
- Costa, J. E. (1985) Floods from dam failures. US Geological Survey, Open-File Rep. No. 85-560, Denver, 54 pp. DOI: 10.3133/ofr85560
- Costabile, P., Macchione, F., Natale, L. and Petaccia, G. (2015). Comparison of scenarios with and without bridges and analysis of backwater effect in 1-D and 2-D river flood modeling. Computer Model. Eng. Sci., 109-110(2), 81-103. DOI:10.3970/cmes.2015.109.081
- Feizi Khankandi, A., Tahershamsi, A. and Soares-Frazão, S. (2012). Experimental investigation of reservoir geometry effect on dam-break flow. J. Hydraul. Res., 50(4), 376-387. DOI:10.1080/00221686.2012.690974
- Feizi, A. (2018). Hydrodynamic study of the flows caused by dam break around

جدول (۵)، اختلاف بین مقادیر دبی بیشینه پیش بینی شده توسط فرمول های تجربی با مقادیر عددی به دست آمده از شبیه سازی ها برای دبی بیشینه در محل دریچه برای دو مخزن طویل و عریض با در نظر گرفتن شیب های مختلف کناری مخزن ارائه شده است. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که در مخزن طویل، با افزایش شیب دیواره کناری مخزن، مقدار دبی بیشینه در محل دریچه کاهش پیدا می کند و در حالت شیب دیواره با ۳۰° بیش ترین مقدار دبی در محل سد اتفاق می افتد. در حالی که در مخزن عریض بیش ترین مقدار دبی متعلق به دیواره قائم مخزن است. از بین روابط تجربی استنباط می شود که روابط Froehlich و Pilotti بهترین مقادیر برای تخمین دبی بیشینه در محل سد ارائه می کنند.

۴- نتیجه گیری

پژوهش حاضر مشتمل بر مدل سازی های عددی به کمک نرم افزار Flow3D جهت بررسی اثر شکل هندسی مخازن در پلان هم زمان با در نظر گرفتن شیب های مختلف برای دیواره مخزن بر مشخصات جریان های خروجی ناشی از شکست سد می باشد. خلاصه نتایج به دست آمده در این پژوهش به صورت زیر است:

۱- در مخازن با هندسه عریض و دوزنقه ای در پلان، به دلیل شکل هندسی این مخازن جریان های ضربداری در کانال متصل به این مخازن شکل گرفته و باعث نوسانات شدید در سطح آب نقاط مختلف کانال پایین دست می شود. در حالی که در مخازن طویل و L شکل به دلیل هم راستا بودن مخزن و کانال پایین دست نوسانات بسیار کم تری ایجاد می شود.

- downstream obstacles. *Open Civil Eng. J.*, 12(1), 225–238. DOI: 10.2174/1874149501812010225
- FLOW 3D User's Manual. (2011). Version 10.0. Flow Science Inc.
- Froehlich, D. C. (1996). Peak outflow from breached embankment dam. *J. Water Resour. Plan. Manag.*, 122(4), 317-319. DOI: 10.1061/(asce)0733-9496(1996)122:4(317)
- Hooshyaripor, F., Tahershamsi, A. and Razi, S. (2017). Dam break flood wave under different reservoir's capacities and lengths. *Sādhanā*, 42(9), 1557–1569. DOI: 10.1007/s12046-017-0693-x
- Issakhov, A. and Imanberdiyeva, M. (2020). Numerical study of the movement of water surface of dam break flow by VOF methods for various obstacles. *Int. J. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, 21(5), 475–500. DOI: 10.1515/ijnsns-2018-0278
- 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
- Javadian, M., Kaveh, R. and Mahmoodinasab, F. (2016). A study on experimental model of dam break problem and comparison experimental results with analytical solution of Saint-Venant equations. *Int. J. Adv. Biotechnol. Res.*, 7, 1239-1245.
- Kocaman, S., Güzel, H., Evangelista, S., Ozmen-Cagatay, H. and Viccione, G. (2020). Experimental and numerical analysis of a dam-break flow through different contraction geometries of the channel. *Water*, 12(4), 1124. DOI: 10.3390/w12041124
- MacDonald, T. C. and Langridge-Monopolis, J. (1984). Breaching characteristics of dam failures. *J. Hydraul. Eng.*, 110(5), 567–586.
- Miraki, A., Bahrami, J. and Amini, A. (2020). Investigation of flood characteristics due to dam failure in the narrow section of the Rive. *Environ. Water Eng.*, 6(4), 388-401. DOI: 10.22034/jewe.2020.245577.1411 [In Persian].
- Monteiro, L. R., Lucchese, L. V. and Schettini, C. E. B. (2019). Comparison between hydrostatic and total pressure simulations of dam-break flows. *J. Hydraul. Res.*, 58(5), 725–737. DOI: 10.1080/00221686.2019.1671509.
- Najar, M. and Gul, A. (2022). Investigating the Influence of Dam-Breach Parameters on Dam-Break Connected Flood Hydrograph. *Teknik Dergi*. 796334. DOI: 10.18400/tekderg.
- Ozmen-Cagatay, H. and Kocaman, S. (2011). Dam-break flow in the presence of obstacle: experiment and CFD simulation. *Eng. Appl. Comput. Fluid Mechanics*, 5(4), 541–552. DOI:10.1080/19942060.2011.11015393
- Pilotti, M., Tomirotti, M., Valerio, G. and Bacchi, B. (2010). Simplified method for the characterization of the hydrograph following a sudden partial dam break. *J. Hydraul. Eng.*, 136(10), 693-704. DOI: 10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000231
- Singh, K. P. and Snorrason, A. (1984). Sensitivity of outflow peaks and flood stages to the selection of dam breach parameters and simulation models. *J. Hydrol. Eng.*, 68(1-4):295–310. DOI :10.1016/0022-1694(84)90217-8
- Soares-Frazão, S. (2007). Experiments of dam-break wave over a triangular bottom sill. *J. Hydraul. Res.*, 45(sup1), 19–26. DOI:10.1080/00221686.2007.9521829
- Soares-Frazão, S. and Zech, Y. (2002). Dam break in channels with 90° bend. *J. Hydraul. Eng.*, 128(11), 956–968. DOI: 10.1061/(asce)0733-9429(2002)128:11(956)
- Soares-Frazão, S. and Zech, Y. (2007). Experimental study of dam-break flow against an isolated obstacle. *J. Hydraul. Res.*, 45(sup1), 27–36. DOI:10.1080/00221686.2007.9521830
- Tahershamsi, A., Hooshyaripor, F., and Razi, S. (2017). Reservoir's geometry impact of three dimensions on peak-discharge of dam failure flash flood. *Scientia Iranica*, 25(4), 1931–1942. DOI:10.24200/sci.2017.4467
- Toro, E. F. (2001). Shock capturing methods for free flows. John Wiley and Sons Publications, USA. 326 pp.
- Wrachien, D. and Mambretti, S. (2009). Dam-break problems, solutions and case studies. WIT Transactions on State-of-the-art in Science and Engineering Publications, UK.