

Research Paper

Effect of Geometric Arrangement of the Baffles on the Energy Dissipation Rate of the Baffled ChutesHamid Rafiei¹,Jalal Bazargan^{2*},Ali Babakhani³

¹ M.Sc. Student, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran Email: h.rafiei.om@gmail.com

² Associate Professor, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran Email: jbazargan@znu.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran Email: Babakhani@znu.ac.ir



10.22125/IWE.2021.236518.1378

Received:
June.24.2020
Accepted:
May.15.2021
Available online:
October.05.2022

Keywords:
Energy Dissipation,
Baffled Chutes,
Geometric
Arrangement, Flow-
3D.

Abstract

Baffled chutes are energy dissipation structures that are used in chutes and water conveyance and distribution structures. Energy dissipation in these structures occurs by the flow collision with the upstream side of the installed baffles on the chute. In the present study, the Flow-3D numerical model was used to simulate flow behavior on the baffled chutes. For this purpose, the numerical calculations were validated using the available experimental data upon introduction of the boundary conditions. Then, the effect of the distance between the baffle rows on the energy dissipation rate of the baffled chutes was studied. The results showed that for a fixed distance between the baffles according to the USBR recommendation, by increasing the distance between the baffle rows (decreased number of baffles), the flow collision to the baffles decreased and consequently, energy dissipation rate decreased. In addition, by continuous increase of the distance between the baffle rows on the chute, the energy dissipation rate on the chute increased (even with smaller number of baffles). In the present study, the effect of increasing the number of baffles on the chute width was studied by keeping a constant blockage. The results showed that by increasing the number of baffles on the chute width (for a constant blockage), the energy dissipation rate did not change significantly. However, the blockage magnitude in the chute width influenced the energy dissipation rate of the chute.

* **Corresponding Author: Hamid Rafiei**

Address: M.Sc. Student, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Email: h.rafiei@znu.ac.ir
Tel: 09128417990

1. Introduction

Baffled chutes are structures used for energy dissipation in water transfer and distribution structures. Energy dissipation in these structures occurs by flow collision to the upstream side of the installed baffles on the chute. Decreasing the flow kinetic energy on the chutes before being transferred downstream is one of the methods to prevent the possible failure of the structure and downstream structures.

2. Materials and Methods

FLOW-3D model

FLOW-3D numerical model has the capability of 3D flow field analysis using the finite volume method. The governing equations on flow include the continuity and momentum equations, which are expressed for turbulent, incompressible flow with constant viscosity and density.

Physical model characteristics

In the present study, the obtained results by Katurani and Kashefipour (2012) were used, who studied the effect of the geometrical characteristics of the baffle and the drop bed slope on the hydraulic conditions of the flow in the baffled drops to calibrate the system.

3. Methodology

The proposed USBR model was first simulated according to Figure (1) using a design discharge of 30 lit/s, a chute length (L) of 1.98 m, a baffle height (H) of 0.066 m and a chute slope (S) of 1V:2H. Then the distance between the baffle rows was studied using five different distances. In the following, in line with the goals of the present paper, new models were developed. In contrast to the proposed USBR model with a constant distance between the baffle rows, the distance between baffle rows increased consecutively. Then, in order to study the effect of the number of baffles in the unit width of the chute (using a constant blockage percent) on the energy dissipation, modeling was done.

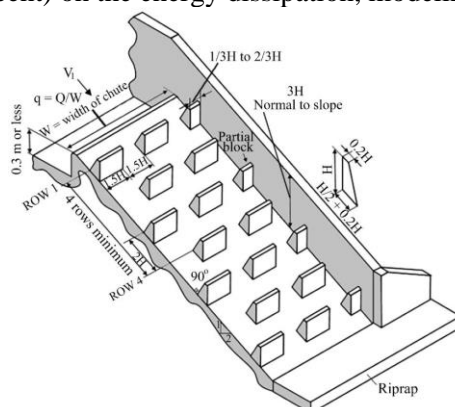


Figure 1. USBR proposed model for the design of baffled chutes

4. Results and Discussion

In the present study, a total of 15 different baffled chutes were simulated, from which 6 models with uniform distance between baffle rows, 4 models with non-uniform distance between baffle rows in the longitudinal direction of the chute, and 5 models with different number of baffles in the transverse direction were studied by maintaining the blockage percent. The results showed that, in general, the relative energy dissipation decreased with the distance between the baffle rows. According to the obtained results, the non-uniform model with the same number of baffles as the uniform model had a higher energy dissipation, indicating a better energy dissipation performance of the chute having baffle rows with non-uniform distance in comparison to the chute having baffle rows with uniform distance. In the present study, the effect of the number of baffles in the unit width of the chute (considering a constant blockage percent) on energy dissipation was also studied. The results showed that the number

of baffles in unit width of the chute (by maintaining the blockage percent) had negligible effect on energy dissipation.

5. Conclusion

Investigating the effect of baffle row distance considering uniform distance between baffle rows showed that by increasing the distance, despite the relatively decreasing trend of total energy dissipation along the chute, the local energy dissipation performance of each baffle row improved. This can encourage researchers and designers to select baffle row distance considering technical considerations to optimize row distances in order to increase the baffle efficiency. Especially in the case of non-uniform distance between baffle rows, it is easier to optimize the number and distances of the rows in a specific length of the chute. In addition, the results of the present study showed that increasing the number of baffles in the unit width of the chute (by maintaining the blockage percent) has insignificant effect on the energy dissipation and the blockage percentage of the unit width of the chute has a significant effect on the amount of energy dissipation.

6. Six important references

- 1) Christodoulou, G. C. 1993. Energy dissipation on stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 119(5):644-649.
- 2) Ahmad, Z., Petappa, N. M., & Westrich, B. (2009). Energy dissipation on block ramps with staggered boulders. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 522-526.
- 3) Katourany, S., Kashefipour, S. M. 2012. Experimental investigation the effect of space and size of baffles on energy dissipation in baffled apron drop. *Archives Des Sciences*, 65(6).
- 4) Daneshfaraz, R., MajediAsl, M., Mirzaee, R., Tayfur, G. 2020. Hydraulic jump in a rough sudden symmetric expansion channel, *AUT Journal of Civil Engineering*,
- 5) Nayebzadeh B., Lotfollahi-Yaghin M. A., Daneshfaraz R. 2021. Experimental study of Energy Dissipation at Vertical Drops Equipped to Vertical Screen with Gradually Expanding at the Downstream. *Amirkabir J. Civil Eng.*, 52(12): 1-4.
- 6) Tabbara, M., Chatila, j., and Awwad, R., 2015. Computational simulation of flow over stepped spillways. *Journal of computers and Structures*. No. 83, 2215-2224.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.



بررسی عددی تاثیر آرایش هندسی موانع بر میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از روی شوت‌های مانع‌دار

حمید رفیعی^{۱*}، جلال بازرگان^۲، علی باباخانی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۲۵

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Flow-3D به شبیه‌سازی عددی رفتار جریان در شوت‌های مانع‌دار پرداخته شده است. به همین منظور ابتدا با بهره‌گیری از اطلاعات مدل آزمایشگاهی و پس از تعریف شرایط مرزی لازم، صحت‌سنجی محاسبات عددی مذکور انجام پذیرفت. سپس تاثیر فاصله بین ردیف‌های موانع در دو حالت فواصل یکنواخت و غیریکنواخت بر میزان استهلاک انرژی در شوت با طول ثابت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان می‌دهد افزایش دو برابری فواصل ردیف‌های موانع در حالت فواصل یکنواخت بین ردیف‌ها، کاهش نسبتاً کم (حدود ۱۷/۵ درصد) میزان استهلاک انرژی را در پی دارد با این وجود افزایش فواصل ردیف‌ها منجر به بهبود عملکرد هر کدام از ردیف‌ها می‌گردد. در بررسی دیگر نتایج نشان داد چنانچه فاصله‌ی ردیف‌ها در طول شوت غیریکنواخت باشد و در راستای طولی شوت بطور تصاعدی افزایش یابد، با وجود کاهش تعداد ردیف موانع در طول کل شوت همچنان استهلاک انرژی نسبت به مدل متناظر با فواصل یکنواخت ردیف‌ها افزایش خواهد یافت. علاوه بر بررسی اثر فواصل موانع در راستای طولی شوت، تاثیر تعداد موانع در هر ردیف (در راستای عرضی شوت) بر میزان استهلاک انرژی نیز مورد بررسی قرار گرفت در این بررسی درصد انسداد ثابت در نظر گرفته شد بنابراین افزایش تعداد بلوک‌های هر ردیف با کاهش عرض هر بلوک همراه است. نتایج این بررسی نشان داد که افزایش تعداد موانع در عرض شوت، تاثیر چندانی (تغییرات کمتر از ۲ درصد) بر میزان استهلاک انرژی ندارد.

واژه‌های کلیدی: استهلاک انرژی، آرایش هندسی، شوت‌های مانع‌دار، فواصل بلوک‌ها، Flow-3D

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه زنجان، زنجان، ایران Corresponding Author

Email: h.rafiiei.om@gmail.com

۲ دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه زنجان، زنجان، ایران jbazargan@znu.ac.ir

۳ استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه زنجان، زنجان، ایران Babakhani@znu.ac.ir

مقدمه

بر روی استهلاک انرژی می‌باشد. (Ahmad et al. 2009) با انجام آزمایشاتی به بررسی اثر نیم کره‌های برآمده بر استهلاک انرژی در روی شیب‌های سنگی با آرایش‌های مختلف پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که مقدار استهلاک انرژی در بستر زبر بیشتر از بستر صاف می‌باشد و مقدار افت انرژی با افزایش تراکم اندازه-ی آن‌ها افزایش می‌یابد. (Katourany and Kashefipour, 2012) در آزمایشی که به بررسی اثر مشخصات هندسی موانع و شیب کف دراپ روی شرایط هیدرولیکی جریان در شوت‌ها انجام دادند به این نتیجه رسید که به طور کلی افزایش محدود عرض موانع و فاصله بین ردیف‌های آنها باعث افزایش افت انرژی می‌گردد. جم و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی به ارزیابی استهلاک انرژی روی سرریز دنداندار بلوکی و مقایسه آن با سرریز پلکانی پرداختند. ایشان تأثیر مستقیم هندسه بلوک‌ها و چیدمان آنها را روی استهلاک انرژی مورد بررسی قرار دادند و افزایش میزان استهلاک انرژی به دلیل استفاده از چیدمان مختلط بلوک‌ها با اندازه‌های مختلف، را گزارش کردند. طی مطالعاتی که (Brown and Crowley, 2018) بر روی نحوه طراحی و احداث مستهلک‌کننده‌های انرژی انجام دادند اظهار داشتند که طراحی کنونی این مستهلک‌کننده‌ها مبتنی بر مدل‌های فیزیکی توسعه یافته در دهه ۱۹۵۰ و پروژه‌های اجرایی ۵۰ سال اخیر می‌باشد که نشان می‌دهد فرآیند طراحی این مستهلک‌کننده‌ها کاملاً تجربی بوده است و طراحان را با یکسری از محدودیت‌هایی در انتخاب چیدمان‌ها، ارتفاع دیواره و فاصله بین ردیف‌ها رو برو می‌کند. (Daneshfaraz et al. 2020) به بررسی تنش برشی و استهلاک انرژی ناشی از حضور المان‌های زبری در سطح شیب‌دار کانال پرداختند. آزمایش‌ها در یک کانال مستطیلی دارای تبدیل افزایش ناگهانی عرض انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد حضور المان‌های زبری در تبدیل افزایش عرض کانال منجر به افزایش ۱۲ برابری تنش برشی نسبت به مدل متناظر در کانال بدون تبدیل با بستر صاف می‌گردد.

یکی از روش‌های استهلاک انرژی در شوت‌ها و سازه‌های انتقال و توزیع آب استفاده از شوت‌های مانع-دار می‌باشد. استهلاک انرژی در این سازه‌ها بصورت برخورد و تصادم جریان با وجه بالادست موانع تعبیه شده در روی شوت صورت می‌گیرد. کاهش انرژی جنبشی بر روی شوت‌ها قبل از آن که جریان به پایین دست منتقل شود، یکی از راه‌هایی است که با استفاده از آن می‌توان از تخریب احتمالی خود سازه و سازه‌های پایین دست جلوگیری بعمل آورد که در نهایت کاهش هزینه‌های اضافی ساخت سازه‌های حفاظتی و ابعاد بزرگتر حوضچه آرامش را به دنبال دارد. در طی دهه-های اخیر مطالعات متعددی در زمینه بهبود راندمان استهلاک انرژی روی بستر شوت‌ها، شیب‌شکن‌ها و سرریزهای پلکانی، صورت گرفته است. از نخستین مطالعات در زمینه شوت‌های مانع‌دار می‌توان به مطالعات پیترا و رون اشاره کرد. (Peterka, 1964) به بررسی ابعاد مختلف موانع واقع در شوت‌ها بر میزان استهلاک انرژی پرداخت و یک سری مدل پیشنهادی ارائه نمود. (Rhone, 1971) در مطالعه‌ای مشابه به بررسی شوت‌های مانع‌دار پرداخت و نشان داد ساختار و ابعاد هر بلوک می‌تواند مقدار دبی واحد طراحی را کنترل کند. در ادامه بیشتر مطالعات در زمینه استهلاک انرژی بر روی شیب‌شکن‌ها و سرریزهای پلکانی صورت گرفت. عمده‌ی این تلاش‌ها در راستای افزایش راندمان استهلاک انرژی از طریق تشدید میزان تلاطم جریان ریزشی بوده است. (Christodoulou, 1993) آزمایش‌هایی را برای مدل‌سازی سرریزهای پلکانی انجام داد و نشان داد که به ازای یک مقدار $\frac{V_c}{h}$ (ارتفاع پله)، مقدار افت انرژی با افزایش تعداد پلکان افزایش نشان می‌دهد. (Chinnarasri and Wongwises, 2006) با مدل کردن انواع مختلف پلکان (افقی، مایل و پلکان با زائده انتهایی) بر روی تندآب با تعداد پلکان مختلف، به بررسی استهلاک انرژی پرداختند و دریافتند که پلکان با زائده انتهایی دارای بیشترین تاثیر



(Daneshfaraz et al. 2017) مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در مدل‌هایی که در آنها بلوک‌های مانع قبل از صفحات مشبک استفاده شده است سبب استهلاک انرژی نسبت به مدل‌های متناظر بدون بلوک می‌باشد. نوروزی و همکاران به بررسی استهلاک انرژی ناشی از بکارگیری صفحات مشبک قائم در پایین دست شیب-شکن‌های مایل با روش ترکیبی عصبی - فازی تطبیق‌پذیر پرداختند. نتایج نشان داد که استفاده از صفحات مشبک منجر به افزایش حداقل ۴۰۷ و حداکثر ۹۰۳ درصدی راندمان استهلاک انرژی نسبی کل نسبت به شیب شکن مایل ساده شد.

همانطوریکه ملاحظه می‌شود مطالعات متعددی در زمینه مستهلک‌کننده‌های انرژی بصورت عددی صورت گرفته است که نشان‌دهنده‌ی توانمندی این مدل‌ها در شبیه‌سازی جریان و استهلاک انرژی می‌باشد. اکثر این تحقیقات در زمینه استهلاک انرژی بر روی سرریزهای پلکانی می‌باشد. در تحقیق حاضر اقدام به شبیه‌سازی عددی جریان بر روی شوت مجهز به موانع شد. همچنین در مطالعات آزمایشگاهی پیشین برای بررسی اثر موانع بر استهلاک انرژی روی شوت‌ها، فواصل موانع در راستای طولی یکنواخت در نظر گرفته شده‌است. در این تحقیق سعی شد تاثیر فاصله بین ردیف موانع در حالت‌های فواصل یکنواخت و غیریکنواخت، مورد مقایسه و بررسی مطالعه قرار گیرد و در راستای بهبود عملکرد موانع بر استهلاک انرژی، پیشنهادهاتی برای تعداد بهینه ردیف موانع در راستای طولی و عرضی شوت ارائه شود.

مواد و روش‌ها

مدل FLOW-3D

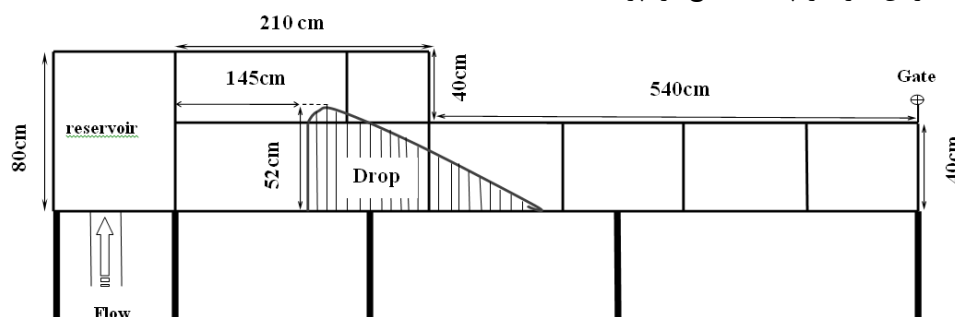
نرم‌افزار FLOW-3D قابلیت تحلیل سه بعدی میدان جریان را به صورت حجم محدود دارا می‌باشد. معادله‌های حاکم بر حرکت سیال عبارتند از معادله

(Nayebzadeh et al. 2021) به بررسی آزمایشگاهی استهلاک انرژی در شیب شکن‌های قائم مجهز به صفحه مشبک قائم با واگرایی تدریجی در پایین دست پرداختند و دریافتند که استفاده از صفحات مشبک و واگرایی دیواره‌ها افزایش استهلاک انرژی را در پی دارد.

عمده تحقیقاتی که ارائه شد آزمایشگاهی بوده است با این وجود در سالهای اخیر طی پیشرفت‌های حاصله در زمینه توسعه مدل‌های عددی و با وجود ابررایانه‌ها و اثبات توانمندی این مدل‌ها در شبیه‌سازی جریان و پدیده‌های هیدرولیکی، استفاده از این ابزارها بیشتر مورد توجه محققان قرار گرفته است که در ادامه به مطالعات عددی در زمینه مستهلک‌کننده‌های انرژی اشاره می‌شود.

(Chen et al. 2002) از مدل *VOF* برای شبیه‌سازی عددی جریان متلاطم در سرریز پلکانی و پروفیل سطح آزاد استفاده کردند و نشان دادند که این روش قابلیت شبیه‌سازی مدل آزمایشگاهی را دارا می‌باشد. (Tabbara et al. 2015) با استفاده از نرم‌افزار *ADINA* و روش اجزای محدود اقدام به شبیه‌سازی استهلاک انرژی بر روی سرریز پلکانی نمودند. در ادامه حکمت‌زاده و پاپاری (۲۰۱۵) با بهره‌گیری از نرم‌افزار *Fluent* و با روش حجم محدود به بررسی کاویتاسیون و استهلاک انرژی روی سرریزهای پلکانی با شیب کم پرداختند و همخوانی مناسب نتایج عددی و آزمایشگاهی را گزارش نمودند. بیگی هرچگانی و منتصری (۱۳۹۶) به بررسی استهلاک انرژی در سرریز پلکانی با استفاده از *Fluent* پرداختند و دریافتند که با افزایش دبی جریان و تعداد پله‌ها میزان افت انرژی به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابد. رزم‌آرا و منصور (۱۳۹۸) اقدام به بررسی تاثیر هندسه لبه‌های پله‌ی سرریز پلکانی با استفاده از نرم‌افزار *Fluent* و مدل آشفتگی *k-e* نمودند. نتایج ایشان نشان داد وجود لبه در انتهای پله میزان استهلاک انرژی در سرریز را افزایش می‌دهد [۱۵]. در ادامه استهلاک انرژی ناشی از عوامل پخش هیدرولیکی بلوک و صفحات مشبک توسط

جهت کالیبره کردن سیستم استفاده شده است. این آزمایش‌ها در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشگاه شهید چمران اهواز و در فلومی به طول ۷/۵ متر و عرض ۰/۳ متر انجام گرفت است. ارتفاع فلوم در قسمت ابتدایی (به طول ۲/۱ متر) ۰/۸ متر و در ادامه (۵/۴ متر) ۰/۴ متر می‌باشد. که در شکل (۱) شماتیک مقطع طولی کانال به نمایش گذاشته شده است.



شکل (۱) مقطع فلوم آزمایشگاهی (Katourany et al, 2012)

با استفاده از تئوری π باکینگهام، پارامترهای رابطه (۱) به صورت پارامترهای بدون بعد، در رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$G\left(\frac{\Delta E}{E_0}, Re, We, Fr, \frac{F}{y_c}, N\right) = 0 \quad (3)$$

که در آن Re عدد رینولدز و We عدد وبر می‌باشد. از آنجاییکه ارتفاع آب روی لبه‌ی سرریز در کلیه مدل‌ها بیش از ۴ cm می‌باشد از تأثیر عدد وبر و کشش سطحی صرف‌نظر شد. همچنین به دلیل ماهیت آشفته جریان تأثیر لزجت قابل چشم‌پوشی است. (Daneshfaraz et al, 2020)

با حذف موارد مذکور افت نسبی انرژی می‌تواند به صورت رابطه (۴) بیان شود:

$$\frac{\Delta E}{E_0} = G\left(Fr, \frac{F}{y_c}, N\right) \quad (4)$$

طبق این رابطه استهلاک انرژی بر روی شوت مانع-دار بصورت تابعی از پارامترهای بدون بعد N ، $\frac{F}{y_c}$ و Fr می‌باشد که در تحقیق حاضر به بررسی دو مورد اول پرداخته شده است.

پیوستگی و معادله مومنتم، که برای جریان آشفته، تراکم‌ناپذیر با لزجت و چگالی ثابت بیان می‌شود.

مشخصات مدل فیزیکی

در تحقیق حاضر از نتایج آزمایش‌های کاتورانی و کاشفی‌پور (۱۳۹۳) که به مطالعه اثر مشخصات هندسی مانع و شیب کف دراپ روی شرایط هیدرولیکی جریان در دراپ‌های مانع‌دار پرداختند،

تحلیل ابعادی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در استهلاک انرژی مؤثر می‌باشند، اقدام نموده و با تجزیه تحلیل ابعادی روابط کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. پارامترهای مؤثر بر میزان استهلاک انرژی در رابطه (۱) ارائه شده است.

$$G\left(\frac{\Delta E}{E_0}, g, v, y_c, \mu, \rho, \sigma, Fr, N\right) = 0 \quad (1)$$

در این رابطه μ لزجت دینامیکی آب، σ کشش سطحی، g شتاب ثقل زمین، v سرعت جریان، ρ چگالی آب، F فاصله بین ردیف مانع، N تعداد مانع در عرض شوت و y_c عمق بحرانی می‌باشد. $\frac{\Delta E}{E_0}$ استهلاک انرژی نسبی می‌باشد که برای محاسبه آن از رابطه (۲) استفاده شده است.

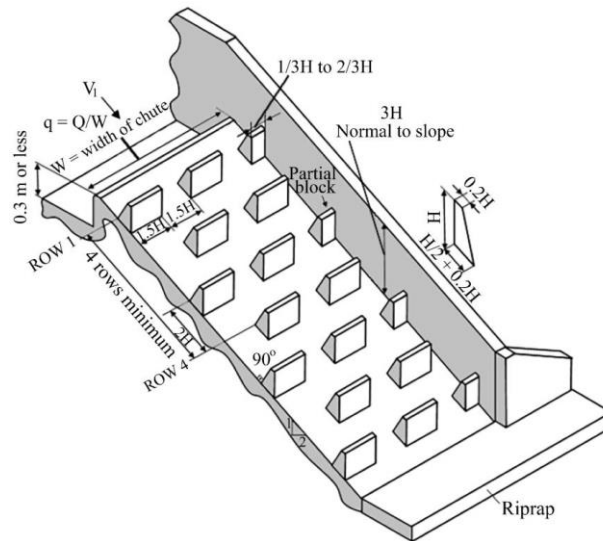
$$\frac{\Delta E}{E_0} = \frac{E_0 - E_d}{E_0} \quad (2)$$

در این رابطه E_0 هد کل بالادست شوت و E_d انرژی پایین دست شوت می‌باشد.

روش انجام تحقیق

یک فاصله ثابت بین ردیف‌های موانع نیست بلکه مطابق با محدوده فواصلی که در جدول ۴ ارایه شده، به صورت متوالی افزایش یافته و مورد مطالعه قرار گرفت. در ادامه جهت بررسی تاثیر افزایش تعداد موانع در عرض شوت (در شرایط درصد انسداد ثابت) بر میزان استهلاک- انرژی، اقدام به مدل‌سازی شد. در این مدل‌ها نسبت انسداد کانال ۵۰ درصد در نظر گرفته شد. برای شبیه-سازی از مدل ضربدری USBR جهت چینش موانع استفاده گردید. ابعاد موانع در جدول (۶) نشان داده شده است.

ابتدا مدل پیشنهادی USBR مطابق شکل (۲) برای دبی طراحی ۳۰ لیتر بر ثانیه، طول شوت ($L = 1.98$ متر، ارتفاع موانع ($H = 0.066$) متر و شیب شوت ($S = 1V:2H$) شبیه‌سازی شد. سپس فواصل بین ردیف موانع در پنج فاصله مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. در ادامه در راستای اهداف این مقاله مدل‌های جدید ساخته شد. در این مدل‌ها فاصله بین ردیف موانع به صورت مدل پیشنهادی USBR یعنی



شکل (۲) مدل پیشنهادی USBR برای طراحی شوت‌های مانع‌دار

خطای نسبی از رابطه (۵) استفاده شده است. خطای مدل‌ها نسبت به مدلی با ابعاد شبکه ۶ سانتیمتر سنجیده شد.

$$RE \% = \left| \frac{\Delta E_{0.6} - \Delta E_i}{\Delta E_{0.6}} \right| \times 100 \quad (5)$$

در این رابطه $\Delta E_{0.6}$ استهلاک انرژی مربوط به مدل با ابعاد شبکه ۶ سانتیمتر و ΔE_i استهلاک انرژی مربوط به سایر مدل‌ها می‌باشد.

شبکه بندی ناحیه محاسباتی

در این قسمت اقدام به بهینه‌یابی ابعاد و تعداد سلول-های شبکه‌بندی شده است تا همزمان با مدل‌سازی دقیق پدیده، با انتخاب بهینه ابعاد سلول‌ها زمان اجرای برنامه به حداقل ممکن برسد. در جدول (۱)

نتایج بهینه‌یابی ابعاد و تعداد شبکه‌بندی نشان داده شده است. مطابق جدول برای ایجاد شرایط بهینه در مدل‌سازی، مش ۱ CM به عنوان مش‌بندی یکنواخت بهینه انتخاب گردید. در این تحقیق برای محاسبه درصد

جدول (۱) نتایج بهینه‌یابی تعداد و ابعاد شبکه بندی ناحیه محاسباتی

اندازه مش (cm)	تعداد مش	$\frac{\Delta E}{E_0}$	درصد خطا
۰/۶	۵۵۷۰۰۰۰	۰/۷۷۹	۰
۰/۸	۲۳۲۷۰۰۰	۰/۷۶۴	٪ ۱/۹
۱	۱۱۹۷۰۰۰	۰/۷۴۰	٪ ۵/۱
۱/۵	۳۶۰۰۰۰	۰/۵۸۱	٪ ۲۵/۴
۲	۱۵۲۰۰۰	۰/۵۶۵	٪ ۲۷/۴

واسنجی مدل عددی

با ایجاد مدل $Z_1W_1D_1$ از آزمایش کاتورانی و کاشفی پور (۲۰۱۲) در نرم افزار Flow-3D و تحلیل نتایج حاصله، نتیجه واسنجی شبیه سازی ها در جدول (۲) نمایش داده شده است.

در این تحقیق برای محاسبه درصد خطای نسبی بین داده های آزمایشگاهی و حل عددی از رابطه (۵) استفاده شده است.

$$RE \% = \left| \frac{\Delta E_{exp} - \Delta E_{cal}}{\Delta E_{exp}} \right| \times 100 \quad (5)$$

شرایط مرزی اعمال شده

در مدلسازی حاضر جریان از نوع دائمی و اغتشاشی و سیال تراکم ناپذیر در نظر گرفته شده است. مدل آشفتگی مورد استفاده در این تحقیق (RNG) $k-\epsilon$ می باشد که با توجه به فیزیک مسئله و پس از سعی و خطا در هر کدام از مدل های آشفتگی انتخاب گردید. تعیین پروفیل سطح آزاد به کمک مدل VOF انجام گرفته است. در شرط مرزی ورودی از Volume flow rate، شرط مرزی خروجی مدل Outflow، شرط مرزی سطح آزاد Symmetry و برای دیوار از شرط مرزی Wall استفاده شده است. همچنین وجه تحتانی Wall در نظر گرفته شد.

جدول (۲) مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج عددی در مدل $Z_1W_1D_1$

درصد خطای نسبی	استهلاک انرژی نسبی در مدل آزمایشگاهی	استهلاک انرژی نسبی در حل عددی	دبی (لیتر بر ثانیه)
٪ ۳/۵	۰/۶۴۴۸	۰/۶۶۸	۳۰
٪ ۳/۶	۰/۷۱۸	۰/۶۹۲	۲۵
٪ ۲/۹	۰/۷۵۳۹	۰/۷۷۵	۲۰
٪ ۲/۸	۰/۷۶۰۳	۰/۷۳۹	۱۵

نتایج و بحث

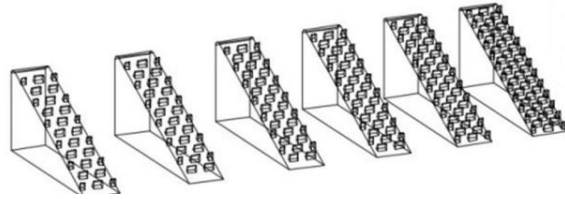
مطابق جدول (۲) به طور متوسط مقدار خطای مدل آزمایشگاهی و مدل عددی ۲/۳ درصد به دست آمد که نشان دهنده توانایی مدل عددی جهت شبیه سازی جریان می باشد

با توجه به نتایج عددی بدست آمده تأثیر فاصله بین ردیف موانع و همچنین آرایش جدید ردیف موانع بر روی میزان استهلاک انرژی شوت مانع دار بررسی گردید (شکل ۴ و جدول ۵). همچنین در شکل های (۳ و ۵) مدل های ساخته شده و جدول های (۳ و ۴) فواصل ردیف موانع برای هر مدل ارائه شده است.

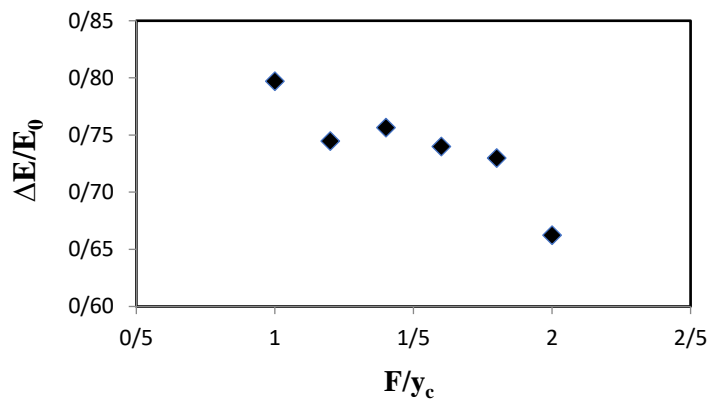
در پژوهش حاضر مجموعاً ۱۵ حالت مختلف مدل برای شوت مانع دار شبیه سازی شد که در ۶ حالت به بررسی فواصل یکنواخت ردیف های موانع (جدول ۳) و ۴ حالت به بررسی فواصل غیریکنواخت ردیف های موانع در راستای طولی شوت (جدول ۴) و ۵ حالت نیز به بررسی تأثیر تعداد موانع در راستای عرضی با حفظ درصد انسداد پرداخته شد.

جدول (۳) ابعاد مورد استفاده برای استخراج نمودار (۴)

نام مدل	فواصل بین ردیف موانع
USBR-F ₁	F ₁ =1.25H
USBR-F ₂	F ₂ =1.50H
USBR-F ₃	F ₃ =1.75H
USBR	F=2.00H
USBR-F ₄	F ₄ =2.25H
USBR-F ₅	F ₅ =2.50H



شکل (۳) : مدل های ساخته شده در نرم افزار جهت استخراج نمودار (۱)



شکل (۴) : تغییرات استهلاک انرژی نسبی حل عددی نسبت به ازای فواصل موانع

انرژی کاسته می شود. با این حال کاهش نسبتاً کم استهلاک انرژی (۱۷/۵ درصد) با افزایش دو برابری فواصل ردیف های موانع و در نتیجه نصف شدن تعداد موانع شوت نشاندهنده این نکته حائز اهمیت است که با افزایش فواصل ردیف های موانع عملکرد هر کدام از

نتایج شکل (۴) نشان می دهد بطور کلی تغییرات استهلاک انرژی نسبی با افزایش فواصل ردیف های موانع دارای روند نسبتاً کاهشی می باشد بطوریکه با افزایش دو برابری فواصل ردیف های موانع (در حالت فواصل یکنواخت بین ردیف ها) ۱۷/۵ درصد از میزان استهلاک

شوت مانع‌دار نشان می‌دهد که تاثیر ردیف‌های ابتدایی بر روی استهلاک انرژی بیشتر است. در ادامه بدلیل عملکرد ضعیف ردیف‌های انتهایی پیش‌بینی می‌شود با افزایش غیریکنواخت فاصله ردیف‌ها در راستای طولی و با ایجاد فواصل بیشتر در ردیف‌های انتهایی نسبت به ابتدایی، عملکرد ردیف‌های انتهایی تقویت شود. در همین راستا اثر فواصل غیریکنواخت ردیف‌های موانع مطابق مدل‌های شکل (۵) و شرایط جدول (۴) مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت

ردیف‌ها بطور چشمگیری افزایش یافته است. بررسی نتایج استهلاک انرژی بصورت موضعی و بین هر دو ردیف از موانع نیز صحت این موضوع را نشان داد. با کمی دقت در نتایج گرافیکی تنش برشی و گردابه‌های ایجادشده مستخرج از مدل عددی بین موانع می‌توان به این نکته پی برد که با افزایش دو برابری فواصل ردیف‌های موانع بدلیل افزایش فضای مناسب برای توسعه ابعاد گردابه‌ها بر شدت تلاطم جریان بین موانع افزوده می‌شود و نهایتاً منجر به افزایش استهلاک انرژی موضعی بین دو ردیف می‌گردد. همچنین بررسی رفتار و الگوی جریان بر روی

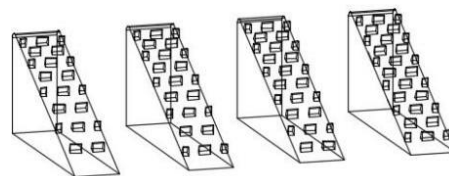
جدول (۴) - فاصله بین هر ردیف با ردیف ماقبل خود در مدل‌های تحلیل شده

شماره ردیف موانع	$USBR - \Delta F_1$	$USBR - \Delta F_2$	$USBR - \Delta F_3$	$USBR - \Delta F_4$
1	2.0H= 0.132	2.0H= 0.132	2.0H= 0.132	2.0H= 0.132
2	2.1H= 0.138	2.2H= 0.145	2.3H= 0.152	2.4H= 0.158
3	2.2H= 0.145	2.4H= 0.158	2.6H= 0.172	2.8H= 0.185
4	2.3H= 0.152	2.6H= 0.172	2.9H= 0.191	3.2H= 0.212
5	2.4H= 0.158	2.8H= 0.185	3.2H= 0.212	3.6H= 0.238
6	2.5H= 0.165	3.0H= 0.198	3.5H= 0.231	4.0H= 0.264
7	2.6H= 0.172	3.2H= 0.212	3.8H= 0.251	4.4H= 0.290
8	2.7H= 0.178	3.4H= 0.224	4.1H= 0.271	4.8H= 0.317
9	2.8H= 0.185	3.6H= 0.238	4.4H= 0.290	-
10	2.9H= 0.191	3.8H= 0.251	-	-
11	3.0H= 0.198	-	-	-

جدول (۵) میزان استهلاک انرژی در مدل‌های جدید

نام مدل	$\frac{\Delta E}{E_0}$	تعداد ردیف موانع
$USBR - \Delta F_1$	69.8 %	11
$USBR - \Delta F_2$	70.4 %	10
$USBR - \Delta F_3$	70.7 %	9
$USBR - \Delta F_4$	68.2 %	8

بیانگر آن است که شوت مجهز به موانع دارای فواصل غیریکنواخت ردیف‌ها عملکرد بهتری نسبت ردیف موانع با فواصل یکنواخت در استهلاک انرژی می‌باشد. این موضوع می‌تواند به علت افزایش ابعاد گردابه‌ها و شدت



شکل (۵) مدل ساخته شده جهت استخراج جدول (۵)

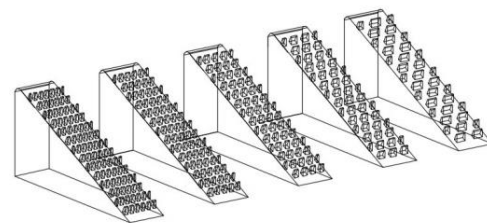
طبق نتایج جدول (۵) مدل $USBR - \Delta F_1$ با وجود تعداد ردیف موانع برابر با مدل $USBR - \Delta F_5$ (۱۱ ردیف موانع)، دارای استهلاک انرژی بیشتری می‌باشد که



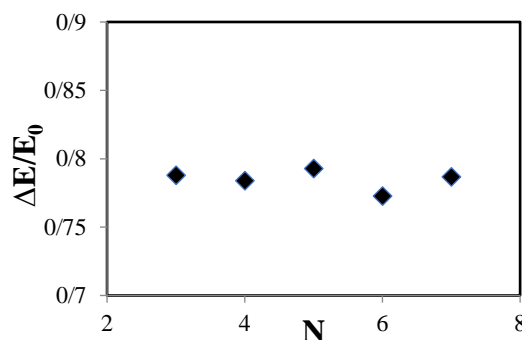
نمود. همان طور که تعداد موانع در طول شوت پارامتر تاثیرگذاری در استهلاک انرژی می‌باشد. در پژوهش حاضر تاثیر تعداد موانع (با میزان انسداد ثابت) در عرض شوت بر روی میزان استهلاک انرژی نیز بررسی گردید. ابعاد مدل‌های ایجاد شده در جدول (۶) و نمایی از مدل‌های در شکل (۶) نمایش داده شده است.

جدول (۶): ابعاد مورد استفاده برای استخراج نمودار (۲)

نام مدل	عرض موانع اصلی	عرض موانع کناری	تعداد موانع ردیف‌های فرد
USBR	A= 0.100	A _P = 0.050	3
USBR-A ₁	A ₁ = 0.067	A _{P1} = 0.033	4
USBR-A ₂	A ₂ = 0.050	A _{P2} = 0.025	5
USBR-A ₃	A ₃ = 0.040	A _{P3} = 0.020	6
USBR-A ₄	A ₄ = 0.033	A _{P4} = 0.017	7



شکل (۶): مدل‌های ساخته شده در نرم‌افزار جهت استخراج نتایج نمودار (۲)



شکل (۷): تغییرات استهلاک انرژی نسبی به ازای تعداد موانع در عرض شوت با درصد انسداد ثابت

نتیجه گیری

در پژوهش حاضر شبیه‌سازی عددی جریان در شوت‌های مانع‌دار صورت گرفت. سپس به بررسی تاثیر فواصل ردیف‌های موانع در راستای طولی شوت در دو حالت فواصل یکنواخت و غیریکنواخت بر میزان استهلاک انرژی روی شوت پرداخته شد. همچنین تاثیر تعداد موانع در راستای عرضی با حفظ درصد انسداد مورد بررسی قرار گرفت. بررسی تاثیر فواصل ردیف‌های موانع در حالت فواصل یکنواخت نشان داد با افزایش فواصل ردیف موانع با وجود روند نسبتاً کاهشی استهلاک انرژی کلی در طول شوت، عملکرد استهلاک انرژی موضعی هر ردیف بهبود می‌یابد. این موضوع

نتایج به دست آمده از شکل (۷) نشان می‌دهد که تعداد موانع در راستای عرضی شوت (با حفظ درصد انسداد) اثر چندانی بر استهلاک انرژی ندارد. چراکه افزایش تعداد موانع در عرض ثابت شوت کاهش عرض هر مانع را در پی خواهد داشت. لذا در هر ردیف سطح برخورد جریان با موانع ثابت می‌ماند. طبق این نتایج می‌توان دریافت که عامل موثر بر استهلاک انرژی کل مساحتی از بلوک‌هاست که در معرض جریان قرار می‌گیرد که اینجا با درصد انسداد نسبت به عرض کل شوت بیان شده است.



همچنین نتایج این تحقیق نشان داد افزایش تعداد موانع در عرض شوت (با میزان انسداد ثابت)، تاثیر موثری بر میزان استهلاک انرژی ندارد و درصد انسداد عرض شوت عامل تعیین کننده در میزان استهلاک انرژی می باشد.

می تواند انگیزه کافی برای محققین و طراحان در انتخاب فنی و دقیق فواصل ردیف ها جهت بهینه یابی فواصل ردیف ها در راستای افزایش راندمان موانع را ایجاد کند بویژه در حالتی که فواصل ردیف ها غیریکنواخت در نظر گرفته شود نیل به یک حالت بهینه از تعداد و فواصل ردیف ها در طول معین شوت سهل تر خواهد بود.

منابع

- بیگی هرچگانی، ص و منتصری، م.، ۱۳۹۶، بررسی استهلاک انرژی در سرریز پلکانی با استفاده از Fluent، دومین کنفرانس هیدرولوژی ایران، دانشگاه شهرکرد.
- جم، م.، طالب بیدختی، ن.، و مردشتی، ا. ۲۰۱۴. ارزیابی استهلاک انرژی روی سرریز دنداندار بلوکی و مقایسه آن با سرریز پلکانی. نشریه هیدرولیک، ۹(۲)، ۱-۱۰.
- رزم آرا، س و منصور، ع.، ۱۳۹۸ بررسی عوامل اثرگذار بر استهلاک انرژی در سرریز پلکانی، فصلنامه علمی و تخصصی مهندسی آب. ۱۸۷-۲۰۰.
- حکمتزاده، ع. و پاپاری، س.، ۲۰۱۵، بررسی کلویتاسیون و استهلاک انرژی روی سرریزهای پلکانی با شیب کم به کمک روش عددی حجم محدود. کنفرانس و نمایشگاه مهندسی آب، دانشگاه شهید بهشتی.
- کاتورانی، س.، کاشفی پور، س.م.، ۱۳۹۳. اثر مشخصات هندسی مانع و شیب کف دراپ روی شرایط هیدرولیکی جریان در دراپ های مانع دار. نشریه علوم مهندسی و آبیاری. ۳۷ (۲)، ۵۱-۵۹.
- نوروزی، ر.، دانشفرز، ر. و بازیار، ع.، ۱۳۹۹.، بررسی استهلاک انرژی ناشی از بکارگیری صفحات مشبک قائم در پایین دست شیب-شکن های مایل با روش ترکیبی عصبی - فازی تطبیق پذیر، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، انتشار آنلاین.
- Ahmad, Z., Petappa, N. M., & Westrich, B. (2009). Energy dissipation on block ramps with staggered boulders. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 522-526.
- Brown, C., Crowley, R. 2018. United States Bureau of Reclamation Type IX Baffled Chute Spillways. In *Multidisciplinary Digital Publishing Institute Proceedings* (Vol. 7, No. 1, p. 13).
- Chen, Q., Dai, G., & Liu, H. 2002. Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway overflow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(7), 683-688.
- Chinnarasri, C., Wongwises, S. 2006. Flow patterns and Energy dissipation over various stepped chutes. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 116(4): 587-691.
- Christodoulou, G. C. 1993. Energy dissipation on stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 119(5):644-649.
- Daneshfaraz, S. Sadeghfam, A. Ghahramanzadeh, 2017. Three-dimensional numerical Investigation of flow through screens as energy dissipators, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 44(10) (2017) 850-859.
- Daneshfaraz, R., MajediAsl, M., Mirzaee, R., Tayfur, G. 2020. Hydraulic jump in a rough sudden symmetric expansion channel, *AUT Journal of Civil Engineering*,
- Daneshfaraz, R., Bagherzadeh, M., Esmaeli, R., Norouzi, R. and Abraham, J., 2020. Study of the performance of support vector machine for predicting vertical drop hydraulic parameters in the presence of dual horizontal screens. *Water Supply*. 21 (1), 217-231.
- Katourany, S., Kashefipour, S. M. 2012. Experimental investigation the effect of space and size of baffles on energy dissipation in baffled apron drop. *Archives Des Sciences*, 65(6).



Nayebzadeh B., Lotfollahi-Yaghin M. A., Daneshfaraz R. 2021. Experimental study of Energy Dissipation at Vertical Drops Equipped to Vertical Screen with Gradually Expanding at the Downstream. Amirkabir J. Civil Eng., 52(12): 1-4.

Peterka, A. 1964. Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. Engineering Monograph No 25 U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation pp 154-188.

Rhone, L. J. 1971. Studies to Determine the Feasibility of a Baffled Apron Drop as a Spillway Energy Dissipator-Conconully Dam Spillway-Okanogan Project. Washington U.S. Bureau of Reclamation Report REC-ERC-71-29.

Tabbara, M., Chatila, j., and Awwad, R., 2015. Computational simulation of flow over Stepped spillways. Journal of computers and Structures. No. 83, 2215-2224.



Effect of Geometric Arrangement of the Baffles on the Energy Dissipation Rate of the Baffled Chutes

Hamid Rafiei^{1*}, Jalal Bazargan², Ali Babakhani³

Abstract

Baffled chutes are energy dissipation structures that are used in chutes and water conveyance and distribution structures. Energy dissipation in these structures occurs by the flow collision with the upstream side of the installed baffles on the chute. In the present study, the Flow-3D numerical model was used to simulate flow behavior on the baffled chutes. For this purpose, the numerical calculations were validated using the available experimental data upon introduction of the boundary conditions. Then, the effect of the distance between the baffle rows on the energy dissipation rate of the baffled chutes was studied. The results showed that for a fixed distance between the baffles according to the USBR recommendation, by increasing the distance between the baffle rows (decreased number of baffles), the flow collision to the baffles decreased and consequently, energy dissipation rate decreased. In addition, by continuous increase of the distance between the baffle rows on the chute, the energy dissipation rate on the chute increased (even with smaller number of baffles). In the present study, the effect of increasing the number of baffles on the chute width was studied by keeping a constant blockage. The results showed that by increasing the number of baffles on the chute width (for a constant blockage), the energy dissipation rate did not change significantly. However, the blockage magnitude in the chute width influenced the energy dissipation rate of the chute.

Keywords: Energy Dissipation, Baffled Chutes, Geometric Arrangement, Flow-3D.

¹ M.Sc. Student, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran. Corresponding Author

² Associate Professor, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran

³ Assistant Professor, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, University of Zanjan, Zanjan, Iran