

Research Paper

Experimental Study of the Effect of Suppressed and Non-suppressed Sill on Sluice Gate Discharge Coefficient under Free-Flow Condition

Rasoul Daneshfaraz ^{1*},Reza Norouzi ²,Hamidreza Abbaszadeh ³

¹ Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Maragheh, Iran. daneshfaraz@maragheh.ac.ir

² Ph.D., Department of Water Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Iran. rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir

³ M.Sc. student, Department of Civil Engineering, Faculty of Civil Engineering, University of Maragheh, Iran. abbaszadeh@stu.maragheh.ac.ir

[10.22125/IWE.2023.173237](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.173237)

Received:
October 1, 2021
Accepted:
February 16, 2022
Available online:
June 25, 2023

Keywords:
Sluice Gate,
Suppressed Sill, Non-
Suppressed Sill, Gate
Opening, Discharge
Coefficient

Abstract

Vertical sluice gate is a structure that is installed on the channel to control the upstream flow. The purpose of this study is to investigate the effect of sluice gate opening and effect of the presence of suppressed and non-suppressed sill below sluice gate on the discharge coefficient under free-flow conditions. Therefore, rectangular sills with different widths of 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25 and 30cm at constant gate opening and sluice gate with openings of 1, 2 and 4cm in without sill state were studied. The results showed that in the without sill state, the amount of gate opening is inversely related to the discharge coefficient, so that by decreasing the gate opening rate, the discharge coefficient increases. On average, the discharge coefficient of 1cm gate opening is higher than that of 2 and 4cm, 7.75% and 16.51%, respectively. The results also showed that with increasing the sill width and thus reducing the total area of the flow through the gate, the discharge coefficient increases and vice versa. The presence of a sill with a minimum width compared to the non-sill state in a specified opening lead to an increase in the discharge coefficient. At the same opening in the without sill state and suppressed sill at a constant flow, the sluice gate discharge coefficient with sill increases in comparison with no sill state. In the present study, based on the dimensionless parameters, nonlinear regression polynomial relations were presented by combining all experimental data to predict the discharge coefficient in without and with sill state in different widths.

1. Introduction

Gates are used to regulate the flow and upstream water level in irrigation channels. The most common of these gates are sluice gates. So that the control of the upstream water level of the gate and also the accuracy of the flow through the gate is based on the amount of gate opening from the bottom of the channel and estimating the discharge coefficient of the gate, respectively. Swamee (1992) stated that the discharge coefficient of the sluice gates in free-flow condition is a function of upstream depth and the amount of gate opening. Regarding the existence of the sill and its combination with the gate, an

* **Corresponding Author:** Rasoul Daneshfaraz

Address: Department of Civil Engineering,
University of Maragheh, Iran,

Email: daneshfaraz@maragheh.ac.ir

Tel: 989143202126

experimental study of the effect of shape and height of the sill below the sluice gate on the discharge coefficient under free-flow conditions (Alhamid 1998) can be mentioned. Daneshfaraz et al. (2016) numerically investigated the effect of sluice gates edge shape on flow characteristics. Their results showed that the flow contraction coefficient for up and down sharp edges and round edge gates decreases, when the ratio of gate opening to upstream specific energy is less than 0.4 and increases for ratios greater than 0.4. Salmasi and Abraham (2020) conducted an experimental study on the discharge coefficient of the sluice gates with polygonal and non-polygonal sills. Their results showed that a circular sill with a height of 3 cm has the greatest effect, and trapezoidal sills have the least effect on the discharge coefficient. Ghorbani et al. (2020) by using H2O method and intelligent models such as DL, RF, GBM and GLM, analyzed the discharge coefficient of sluice gates with the sill. Karami et al. (2020) investigated the effect of sill parameters such as height and sill shape on the discharge coefficient of sluice gate in free-flow conditions by using FLOW-3D software. The results revealed that the semicircular sill has a greater effect on the discharge coefficient and increases the discharge coefficient by 20%.

2. Materials and Methods

In the present study, the experiments were performed in rectangular cross-section flume with transparent Plexiglass walls and floor at the hydraulic laboratory of the University of Maragheh. The flume is 5 meters long, 0.3 meters wide and 0.5 meters high. The experiments were performed in two states without sill at different gate openings and with sill at constant opening. In this research, polyethylene sills with a thickness of 5 cm and a height of 3 cm in different widths of 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25, and 30 cm were used under the sluice gate. In the present study, the geometric, hydraulic characteristics and range of measured variables for the models used are presented in Table 1.

Table 1- Hydraulic and geometric characteristics of the studied models

Hydraulic Characteristics		Geometric Characteristics	
Variables	Range	Variables	Range
Upstream water depth (m)	0.053~0.44	Channel dimensions (m)	5×0.3×0.5
Discharge (L/min)	150~750	Gate opening rate (m)	0.01-0.02-0.04
Reynolds number (-)	11111~41667	Sill dimensions (cm)	2.5-5-7.5-10-15-20-25-30

Equation (1) which use for suppressed sill state, can be extended as Equation (2) for the non-suppressed sill state:

$$Q = C_d W G \sqrt{2g(H_0 - Z)} \quad (1)$$

$$Q = C_d \left((A_1 \sqrt{2gH_0}) + (A_2 \sqrt{2g(H_0 - Z)}) + (A_3 \sqrt{2gH_0}) \right) \quad (2)$$

where, Q is the discharge, W is the channel width, G is the gate opening, g is the gravity acceleration, H₀ is the upstream water depth, Z is the sill height, A₁, A₃ and A₂ are the area of the flow in without the sill and above the non-suppressed sill, respectively (Figure 1).

In this study, using π -Buckingham method, the discharge coefficient equation with simplifications as a function of dimensionless parameters (Equation 3) is presented.

$$C_d = \left(\frac{A_2}{2A_1}, \frac{Z}{B}, \frac{H_0}{B} \right) \quad (3)$$

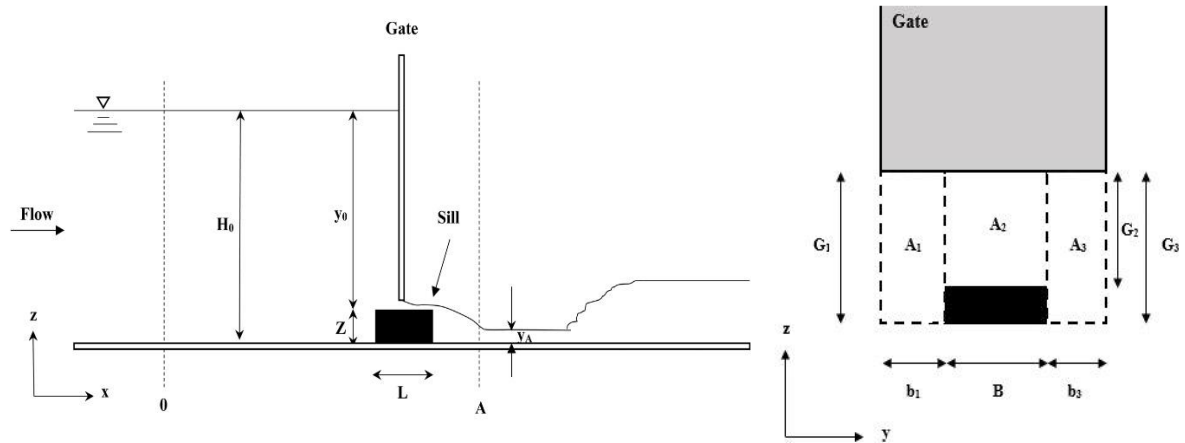


Figure 1- Schematic view of the gate and sill

3. Results

The results showed that in the without sill state and in different sluice gate openings, the discharge coefficient is inversely related to the gate opening rate. On average, the discharge coefficient of 1 cm opening is higher compared to the openings of 2 and 4 cm, 7.75% and 16.51%, and maximum 16.62% and 28.9%, respectively. Comparison of the results obtained for the discharge coefficient, with sill, and without sill condition indicates the better performance of the existence of a sill under the sluice gate in terms of increasing the discharge coefficient. In the present study, the general equation of discharge calculation was developed for non-suppressed sill. According to Equations 4 and 5, using the data obtained from the experiments, non-linear regression equations were presented to predict the discharge coefficient with correlation coefficients of 0.982 and 0.963, respectively, for without and with sill states. Which can be used with high confidence.

$$C_d = 2.7465 \left(\frac{H_0}{G} \right)^{0.0177} - 2.1916 \quad (4)$$

$$C_d = 0.1529 \times \left(\frac{A_{total}}{A_2} \right)^{-1.2093} + 0.6511 \left(\frac{H_0 - Z}{B} \right)^{0.2565} \times \left(\frac{H_0}{B} \right)^{-0.2668} \quad (5)$$

The statistical indices for Equation (4) between the experimental results and the proposed equation indicate the desired accuracy of the proposed equation, so that for Equation (4), maximum relative percentage error, mean percentage relative error, mean absolute error and root mean square error are 2.81% 0.97%, 0.0061 and 0.0072, respectively. These statistical indices for Equation (5) are 4.92%, 1.36%, 0.0087 and 0.0108, respectively.

4. Discussion and Conclusion

In the present study, the effect of sill width on the discharge coefficient of sluice gate was investigated experimentally. Experiments were performed in the range of discharge of 150 to 750 liters per minute and upstream water depth of 0.053 to 0.44 meters. In a constant discharge, by increasing the opening, the upstream water depth of the gate decreases and the discharge coefficient gets decreases trend relative to the lower gate opening. The comparison of the results of discharge coefficients between the suppressed sill and no sill state in the opening of 1 cm indicates an increase of the discharge coefficient in the suppressed sill state in a fixed opening. By comparing the rate of increase of the discharge coefficient, it can be concluded that the sill width parameter has the greatest effect on the discharge coefficient.

5. Six important references

- 1) Alhamid, A. A. 1998. Coefficient of Discharge for Free Flow Sluice Gates. Journal of King Saud University - Engineering Sciences, 11(1): 33-47.
- 2) Daneshfaraz, R., Ghahramanzadeh, A., Ghaderi, A., Joudi, A.R. and Abraham, J. 2016, Investigation of the Effect of Edge Shape on Characteristics of Flow under Vertical Gates. Journal of American Water Works Association, Doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0102
- 3) Ghorbani, M.A., Salmasi, F., Saggi, M. K., Bhatia, A. S., Kahya, E. and Norouzi, R. 2020. Deep Learning under H2O Framework: A Novel Approach for Quantitative Analysis of Discharge Coefficient in Sluice Gates. Journal of Hydroinformatics, 22 (6): 1603-1619
- 4) Karami, S., Heidari, M. M. and Adib Rad, M. H. 2020. Investigation of Free Flow Under the Sluice Gate with the Sill Using Flow-3D Model. Iran J Sci Technol Trans Civ Eng, 44: 317–324, Doi: 10.1007/s40996-019-00310-x
- 5) Salmasi, F. and Abraham, J. 2020. Prediction of Discharge Coefficients for Sluice Gates Equipped with Different Geometric Sills under the Gate Using Multiple Non-linear Regression (MNLR). Journal of Hydrology, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125728
- 6) Swamee, P. K. 1992. Sluice Gate Discharge Equations. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 118(1): 56-60.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

بررسی آزمایشگاهی تأثیر آستانه هم‌عرض و غیرهم‌عرض بر ضریب‌دبی دریچه کشویی در شرایط جریان آزاد

رسول دانشفراز^{۱*}، رضا نوروزی^۲، حمیدرضا عباس زاده^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۲۷

مقاله پژوهشی

چکیده

دریچه کشویی قائم سازه‌ای است که بر روی کانال و به‌منظور کنترل جریان بالادست نصب می‌گردد. هدف از تحقیق حاضر، بررسی آزمایشگاهی تأثیر میزان بازشدگی دریچه کشویی و تأثیر وجود آستانه‌های هم‌عرض و غیرهم‌عرض کانال در زیر آن بر ضریب‌دبی در شرایط جریان آزاد است. در این راستا، آستانه مستطیلی با عرض‌های مختلف ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر با بازشدگی ثابت و دریچه کشویی با میزان بازشدگی ۱، ۲ و ۴ سانتی‌متر برای حالت بدون آستانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق نشان داد در حالت بدون آستانه، میزان بازشدگی دریچه با ضریب‌دبی جریان رابطه عکس دارد به‌طوری‌که با کاهش میزان بازشدگی دریچه، ضریب‌دبی افزایش می‌یابد. به‌طور میانگین ضریب‌دبی میزان بازشدگی ۱ سانتی‌متر در مقایسه با میزان بازشدگی ۲ و ۴ سانتی‌متر به‌ترتیب ۷۷/۵٪ و ۱۶/۵٪ بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش عرض آستانه و در نتیجه کاهش مساحت کل جریان عبوری از زیر دریچه، ضریب‌دبی افزایش می‌یابد و بالعکس. وجود آستانه با حداقل عرض در مقایسه با حالت بدون آستانه در یک بازشدگی مشخص، منجر به افزایش ضریب‌دبی می‌گردد. در یک بازشدگی یکسان در حالت بدون آستانه و با آستانه هم‌عرض در یک دبی ثابت، ضریب‌دبی دریچه کشویی با آستانه نسبت به حالت بدون آستانه افزایش می‌یابد. در تحقیق حاضر براساس پارامترهای بی‌بعد روابط چند جمله‌ای رگرسیونی غیرخطی با تلفیق تمامی داده‌های آزمایشگاهی برای پیش‌بینی ضریب‌دبی در حالت بدون آستانه و با آستانه در عرض‌های مختلف ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: دریچه کشویی، آستانه هم‌عرض، آستانه غیرهم‌عرض، بازشدگی دریچه، ضریب‌دبی

^۱ استاد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، پست الکترونیکی: daneshfaraz@maragheh.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۲ دانش آموخته دکتری، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، پست الکترونیکی: rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران، پست الکترونیکی: abbaszadeh@stu.maragheh.ac.ir



مقدمه

دریچه‌ها به منظور تنظیم دبی و سطح آب بالادست در کانال‌های آبیاری استفاده می‌شوند. از پرکاربردترین این دریچه‌ها، دریچه‌های کشویی هستند که به صورت صفحه‌ای قائم در مسیر عمودی به منظور تنظیم میزان بازشدگی، بالا و پائین حرکت می‌کنند، به طوری که کنترل میزان سطح آب بالادست دریچه و همچنین میزان دقت عبوری جریان از زیر دریچه به ترتیب براساس میزان بازشدگی دریچه از کف کانال و تخمین ضریب‌دبی دریچه صورت می‌گیرد. تاکنون مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی متعددی به منظور تعیین پارامترهای هیدرولیکی و هندسی دریچه‌های کشویی انجام یافته است. تخمین ضریب‌دبی و به تبع آن تعیین میزان دبی عبوری از زیر دریچه‌ها یکی از مسائل مهم و اساسی در مهندسی هیدرولیک است.

اولین تحقیقات در مورد تعیین ضریب‌دبی دریچه کشویی در حالت جریان آزاد مربوط به Henry (1950) و Rajaratnam and Subramanya (1967) می‌باشد. Rajaratnam (1977) جریان آزاد در دریچه‌های کشویی را مورد بررسی قرار داده و رابطه‌ای به منظور تخمین ضریب‌دبی ارائه کرد. همچنین نتایج آزمایشگاهی ایشان نشان داد که ضریب انقباض جریان بزرگ‌تر از مقدار پیش‌بینی شده نظری می‌باشد. Swamee (1992) ضریب‌دبی دریچه‌های کشویی در حالت جریان آزاد را تابعی از عمق بالادست و میزان بازشدگی دریچه عنوان نمود. Khalili Shayan and Farhoudi (2013) مهمترین عامل موثر بر ضریب‌دبی دریچه‌های کشویی در شرایط جریان آزاد را میزان بازشدگی دریچه عنوان کردند. Daneshfaraz et al. (2016) به بررسی عددی تأثیر شکل لبه دریچه‌های کشویی بر خصوصیات جریان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب انقباض جریان برای لبه‌های تیز به سمت بالا و پائین و برای دریچه‌های لبه‌گرد، زمانی

که نسبت بازشدگی دریچه به انرژی مخصوص در بالادست کوچک‌تر از ۰/۴ باشد، کاهش و برای نسبت‌های بزرگ‌تر از ۰/۴، افزایش می‌یابد. (Salmasi et al. 2021) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به کارگیری مدل‌های هوش SVM^1 ، ANN^2 ، $GRNN^3$ ، RF^4 ، GP^5 و RT^6 ضریب‌دبی دریچه‌های کشویی مایل را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش زاویه قرارگیری دریچه، ضریب‌دبی افزایش می‌یابد.

در مواقعی که ارتفاع دریچه از یک معیار خاص طراحی تجاوز نماید، از دریچه‌های دوتایی یا سه‌تایی استفاده می‌شود (Negm et al. 1998). این درحالی است که استفاده از دریچه‌ها به صورت دوتایی یا سه‌تایی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و هزینه زیادی دارد. یکی از راهکارها به منظور کاهش ابعاد دریچه، استفاده از آستانه در کف کانال و نصب کردن دریچه روی آن می‌باشد. آستانه منجر به کاهش ارتفاع طراحی دریچه‌ها خواهد شد. با توجه به اینکه افزایش عملکرد هیدرولیکی و بالابردن راندمان توزیع آب در شبکه‌های آبیاری و کانال‌ها ضروری می‌باشد، بنابراین استفاده از سازه ترکیبی دریچه-آستانه می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

در زمینه وجود آستانه و ترکیب آن با دریچه مطالعات متعددی انجام شده که می‌توان به بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل و ارتفاع آستانه در زیر دریچه کشویی بر میزان ضریب‌دبی در شرایط جریان آزاد (Alhamid, 1998) اشاره کرد. ایشان در بررسی‌های خود از آستانه‌های چند ضلعی^۷ و دایروی استفاده نمود. نتایج حاکی از افزایش میزان ضریب‌دبی در حالت استفاده از آستانه نسبت به حالت بدون آستانه در تمامی مدل‌های آزمایش بود. آستانه دایره‌ای بیشترین تأثیر بر ضریب‌دبی در بین آستانه‌های آزمایش شده را داشت. رضواند منفرد (۱۳۹۶) تأثیر ارتفاع آستانه بر

⁵ Gaussian Process

⁶ Random Tree

⁷ Polygonal Sills

¹ Support Vector Machine

² Artificial Neural Networks

³ Generalized Regression Neural Network

⁴ Random Forest

حاضر معادله عمومی برای محاسبه میزان دبی عبوری از زیر دریاچه کشویی برای حالت آستانه هم‌عرض کانال، برای آستانه‌های غیرهم‌عرض توسعه داده شد. لذا با توجه به اهمیت موضوع، در تحقیق حاضر ضریب‌دبی در حالت بدون آستانه در بازشدگی‌های مختلف و با آستانه در بازشدگی ثابت دریاچه کشویی بررسی و با کار سایر محققان مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها تجهیزات آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر برای انجام آزمایش‌ها از یک فلوم آزمایشگاهی واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه، با مقطع مستطیلی به طول ۵ متر، عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۵ متر با دیواره‌ها و کف از جنس پلکسی گلس شفاف استفاده شده است. فرآیند آزمایش‌ها در بازه زمانی فروردین الی خرداد ماه سال ۱۴۰۰ شمسی انجام یافته است. شیب کف کانال قابل تغییر بوده و برای انجام آزمایش‌ها روی صفر تنظیم شد. به‌منظور تأمین جریان ورودی به فلوم از دو پمپ هر یک با توان اسمی ۴۵۰ لیتر بر دقیقه و به‌منظور قرائت دبی ورودی از روماترهای نصب شده روی فلوم با خطای نسبی ۲٪ استفاده شد. برای کاهش تلاطم آب ورودی از مخزن، از چند صفحه آرام‌کننده موازی در ابتدای فلوم استفاده شد. در تحقیق حاضر، برای اندازه‌گیری عمق آب در فلوم از یک عمق سنج نقطه‌ای با دقت ± 1 میلی‌متر که بر روی ریل متحرک نصب استفاده شد. اعماق در ۴ نقطه از مقطع عرضی اندازه‌گیری شده و میانگین آن‌ها به‌عنوان عمق نهایی در نظر گرفته شد. آزمایش‌ها در دو حالت بدون آستانه در بازشدگی‌های مختلف و با آستانه در بازشدگی ثابت انجام یافته است. در این تحقیق آزمایش‌ها با استفاده از آستانه‌هایی از جنس پلی اتیلن به ضخامت ۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳ سانتی‌متر در عرض‌های مختلف ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر در زیر دریاچه کشویی، انجام پذیرفت. نمای شماتیک از دریاچه-آستانه و فلوم

روی الگوی جریان در دریاچه‌ها را به‌صورت عددی و با استفاده از نرم‌افزار FLUENT مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که اگر موقعیت قرارگیری آستانه زیر دریاچه کشویی باشد، ضریب‌دبی نسبت به‌حالت بدون آستانه همواره افزایش می‌یابد. سلماسی و نوروزی (۱۳۹۷) به بررسی تأثیر شکل‌های مختلف هندسی آستانه هم‌عرض جریان بر ضریب‌دبی دریاچه کشویی پرداختند. نتایج نشان داد که آستانه دایره‌ای موثرترین شکل و آستانه مثلثی از جمله بهترین آستانه‌های چند وجهی می‌باشد. Karami et al. (2020) تأثیر پارامترهای آستانه ارتفاع و شکل بر ضریب‌دبی دریاچه‌های کشویی در جریان آزاد را با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آستانه نیم دایره‌ای تأثیر بیشتری بر ضریب‌دبی دارد و باعث افزایش ۲۰ درصدی ضریب‌دبی می‌شود. Salmasi and Abraham (2020) به بررسی آزمایشگاهی ضریب‌دبی دریاچه‌های کشویی با آستانه‌های چند وجهی و غیر چند وجهی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که آستانه دایره‌ای با ارتفاع ۳ سانتی‌متر بیشترین تأثیر و آستانه‌های دوزنقه‌ای کم‌ترین تأثیر را بر ضریب‌دبی دارد. Ghorbani et al. (2020) با استفاده از روش H_2O و مدل‌های هوشمند از جمله GLM^3 ، GBM^2 ، RF ، DL ، RF به تخمین ضریب‌دبی دریاچه‌های کشویی با آستانه پرداختند. نتایج نشان داد که روش یادگیری ماشین H_2O عملکرد خوبی در تخمین ضریب‌دبی دریاچه کشویی دارد.

بررسی پیشینه تحقیق نشان داد که تاکنون مطالعه‌ای درخصوص استفاده از ترکیب دریاچه-آستانه با ابعاد متفاوت در عرض آستانه صورت نپذیرفته و گزارش نتایج استفاده از این نوع سازه‌ها در میان منابع علمی خالی است. همچنین با دقت در پیشینه تحقیق نیاز به مطالعه در زمینه آستانه با اندازه‌های مختلف در عرض (به‌منظور جلوگیری از تجمع رسوبات پشت دریاچه)، زیر دریاچه کشویی و تأثیر آن بر ظرفیت هیدرولیکی و ضریب‌دبی متناظر احساس شده و مورد توجه نویسندگان قرار گرفت. بدین منظور در تحقیق

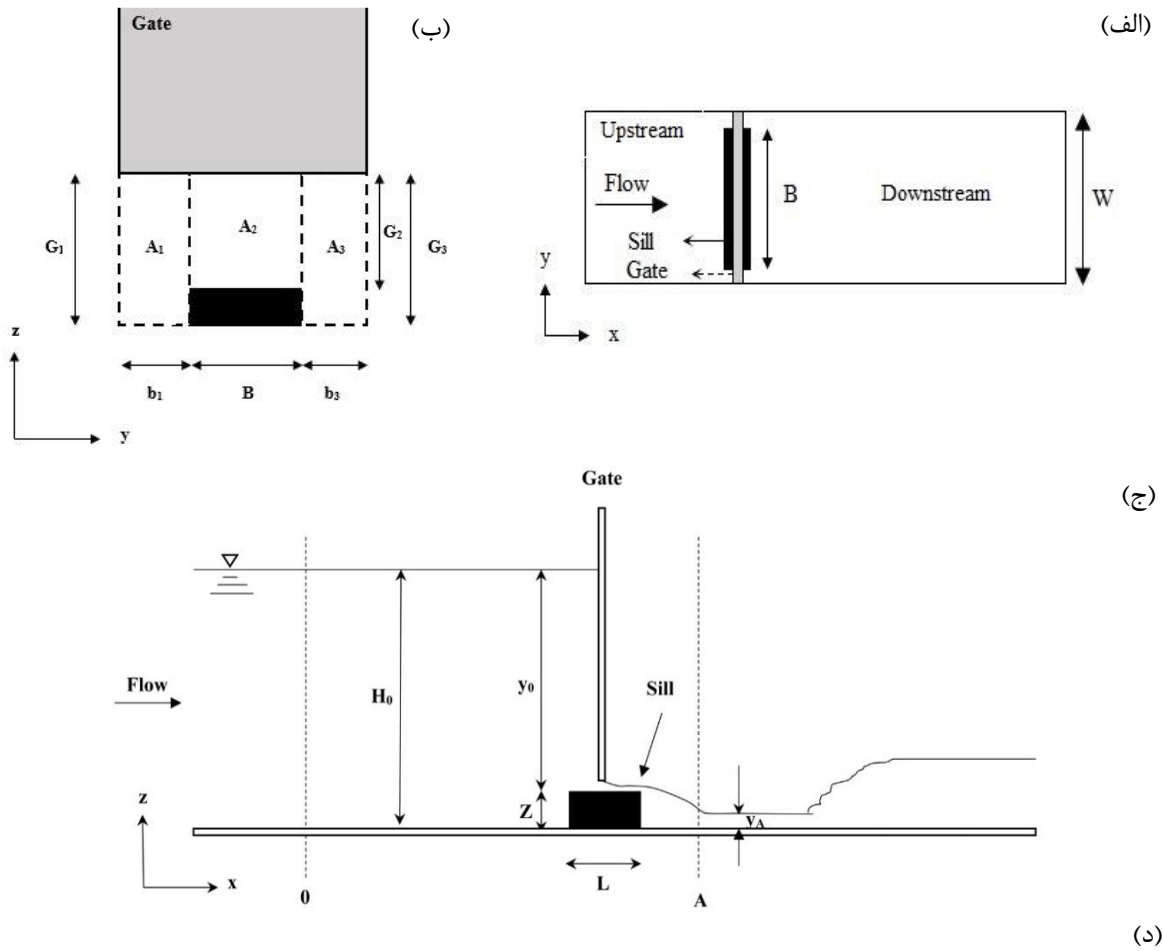
³ Generalized Linear Model

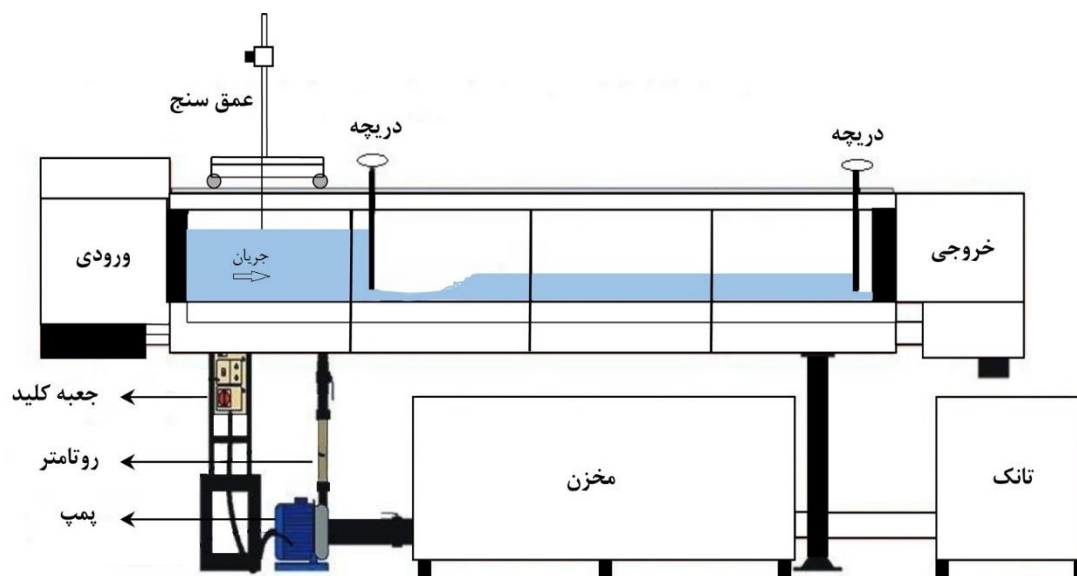
¹ Deep Learning

² Gradient Boosting Machine

آستانه در سه بازشدگی مختلف دریاچه صورت گرفت. در جدول (۱)، مشخصات هندسی، هیدرولیکی و محدوده متغیرهای اندازه‌گیری شده برای مدل‌های به کار رفته در تحقیق حاضر ارائه شده است.

آزمایشگاهی تحقیق حاضر در شکل (۱)، نشان داده شده است. در مجموع ۱۱۱ آزمایش در محدوده دبی ۱۵۰ الی ۷۵۰ لیتر بر دقیقه به منظور بررسی ضریب‌دبی دریاچه کشویی قائم در حالت با آستانه، در عرض‌های مختلف آستانه در زیر دریاچه کشویی با بازشدگی ثابت و بدون





شکل (۱): نمای شماتیک از دریچه و آستانه الف (نمای فوقانی ب) نمای روبرو ج) نمای جانبی د) شکل کلی فلوم در تحقیق حاضر

جدول (۱): مشخصات هیدرولیکی و هندسی مدل‌های مورد مطالعه

مشخصات هیدرولیکی		مشخصات هندسی	
متغیرها	دامنه تغییرات	متغیرها	دامنه تغییرات
عمق جریان بالادست (m)	۰/۰۵۳~۰/۴۴	ابعاد کانال (m)	۵×۰/۳×۰/۵
دبی (L/min)	۱۵۰~۷۵۰	بازشدگی دریچه (m)	۰/۰۱ - ۰/۰۲ - ۰/۰۴
عدد رینولدز (-)	۱۱۱۱۱~۴۱۶۶۷	ابعاد آستانه (cm)	۲/۵ - ۵ - ۷/۵ - ۱۰ - ۱۵ - ۲۰ - ۲۵ - ۳۰

در شکل (۲)، نمایی از فلوم آزمایشگاهی و آستانه با عرض‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل (۲): نمونه‌ای از مدل‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر

تشابه ابعادی

در تحقیق حاضر برای حالت با آستانه مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر ضریب‌دبی طبق رابطه (۹) عبارتند از:

$$f_1(C_d, A_1, A_2, A_3, H_0, B, Z, L, W, \rho, g, \mu) = 0 \quad (9)$$

که در آن L ضخامت آستانه (L)، ρ جرم مخصوص آب (ML^{-3}) و μ لزوجت دینامیکی ($ML^{-1}T^{-1}$) می‌باشند. با در نظر گرفتن ρ ، g و B به‌عنوان متغیرهای تکراری و با استفاده از روش π -باکینگهام، می‌توان رابطه بی‌بعد (۱۰) را ارائه کرد:

$$f_2\left(C_d, \frac{A_1}{B^2}, \frac{A_2}{B^2}, \frac{A_3}{B^2}, \frac{H_0}{B}, \frac{Z}{B}, \frac{L}{B}, \frac{W}{B}, Re\right) = 0 \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، Re بیانگر عدد بی‌بعد رینولدز می‌باشد. برخی از پارامترهای رابطه فوق هم‌چون ضخامت آستانه و عرض کانال مقادیر معینی به‌خود گرفته‌اند و از اهداف تحقیق حاضر نیستند، بنابراین از بررسی تأثیر این پارامترها چشم‌پوشی شد. در تحقیق حاضر با توجه به اینکه آستانه در مرکز فلوم قرار دارد، مساحت جریان عبوری در طرفین آستانه با یکدیگر برابر است. بنابراین مساحت کل ناحیه جریان عبوری $A_{total} = 2A_1 + A_2$ خواهد بود. با توجه به اینکه در مطالعه حاضر جریان متلاطم و $11111 \leq Re \leq 41667$ است لذا می‌توان از تأثیر عدد رینولدز نیز چشم‌پوشی نمود (Daneshfaraz et al. 2021). پارامترهای مورد بررسی در تحقیق حاضر به‌صورت رابطه (۱۱)، ارائه گردید:

$$C_d = \left(\frac{A_2}{2A_1}, \frac{Z}{B}, \frac{H_0}{B}\right) \quad (11)$$

پارامترهای ارزیابی

در تحقیق حاضر از شاخص‌های آماری خطای مطلق (AE)، درصد خطای نسبی (RE%)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و ضریب همبستگی (R^2) جهت ارزیابی روابط بهره‌گرفته شد:

$$AE = |C_{d_{exp}} - C_{d_{cal}}| \quad (12)$$

$$RE\% = \frac{|C_{d_{exp}} - C_{d_{cal}}|}{C_{d_{exp}}} \times 100 \quad (13)$$

با استفاده از معادله انرژی و برای جریان آزاد، میزان دبی عبوری از زیر دریاچه کشویی در حالت بدون آستانه مطابق رابطه (۱)، محاسبه می‌گردد:

$$Q = C_d W G \sqrt{2gH_0} \quad (1)$$

که در آن Q دبی (L^3T^{-1})، C_d ضریب‌دبی جریان (-)، W عرض کانال (L)، G میزان بازشدگی دریاچه (L)، g شتاب گرانش زمین (LT^{-2}) و H_0 عمق آب بالادست دریاچه کشویی (L) می‌باشند.

میزان دبی عبوری از زیر دریاچه برای حالت آستانه هم‌عرض کانال از طریق رابطه (۲)، به‌دست می‌آید:

$$Q = C_d W G \sqrt{2g(H_0 - Z)} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، Z ارتفاع آستانه (L) و WG مساحت جریان عبوری از زیر دریاچه می‌باشد. بر این اساس، رابطه (۲) را برای حالت آستانه‌های غیرهم‌عرض کانال می‌توان به‌صورت رابطه (۳)، توسعه داد:

$$Q = C_d \left((A_1 \sqrt{2gH_0}) + (A_2 \sqrt{2g(H_0 - Z)}) + (A_3 \sqrt{2gH_0}) \right) \quad (3)$$

در رابطه (۳)، A_1 ، A_2 و A_3 به‌ترتیب مساحت جریان عبوری زیر دریاچه در ناحیه ۱، ۲ و ۳ می‌باشند که با توجه به روابط (۴) الی (۹)، محاسبه می‌گردد:

$$A_1 = b_1 \times G_1 \quad (4)$$

$$A_2 = B \times G_2 \quad (5)$$

$$A_3 = b_3 \times G_3 \quad (6)$$

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 \quad (7)$$

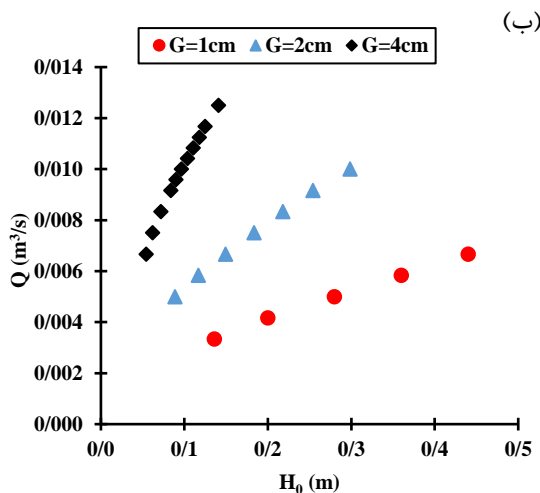
که در آن b_1 و b_3 عرض قسمتی از کانال (L) که در آن آستانه وجود ندارد و B عرض آستانه (L) می‌باشد.

مقدار ضریب‌دبی در حالت بدون آستانه تابعی از عمق جریان بالادست و میزان بازشدگی دریاچه کشویی است، بنابراین مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر آن به‌صورت رابطه (۸)، قابل بیان است:

$$C_d = f_1(H_0, G) \quad (8)$$



می‌باشد. باتوجه به شکل (۳-الف)، مقادیر ضریب‌دبی با میزان بازشدگی دریاچه کشویی رابطه عکس دارد و با افزایش میزان بازشدگی دریاچه، ضریب‌دبی کاهش می‌یابد. ازجمله پارامترهای مؤثر بر ضریب‌دبی دریاچه‌های کشویی، عمق آب بالادست دریاچه می‌باشد، بنابراین افزایش میزان بازشدگی دریاچه سبب کاهش عمق آب در بالادست دریاچه شده و همین عامل سبب کاهش ضریب‌دبی در بازشدگی‌های بیشتر می‌شود. همچنین با کاهش بازشدگی دریاچه، جریان عبوری از زیر دریاچه همگرا شده و مساحت جریان عبوری از زیر دریاچه کاهش می‌یابد که این کاهش منجر به افزایش سرعت و در نتیجه ضریب‌دبی می‌گردد. همچنین با افزایش نسبت عمق بالادست به بازشدگی دریاچه، که حاکی از کاهش میزان بازشدگی و به تبع آن افزایش عمق بالادست دریاچه است، ضریب‌دبی روند افزایشی دارد. در شکل (۳-ب)، نمودار دبی-اشل برای میزان بازشدگی‌های مختلف دریاچه کشویی ارائه شده است. در یک دبی مشخص، میزان بازشدگی دریاچه با عمق آب بالادست دریاچه رابطه عکس داشته و با افزایش آن، عمق جریان کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر به‌طور میانگین ضریب‌دبی بازشدگی ۱ سانتی‌متر در مقایسه با بازشدگی ۲ و ۴ سانتی‌متر به ترتیب ۷۷/۷٪ و ۱۶/۵٪ و حداکثر ۱۶/۶۲٪ و ۲۸/۹٪ بیشتر می‌باشد.



شکل (۳): الف) تغییرات ضریب‌دبی در برابر H_0/G ب) نمودار دبی-اشل در بازشدگی‌های مختلف دریاچه کشویی

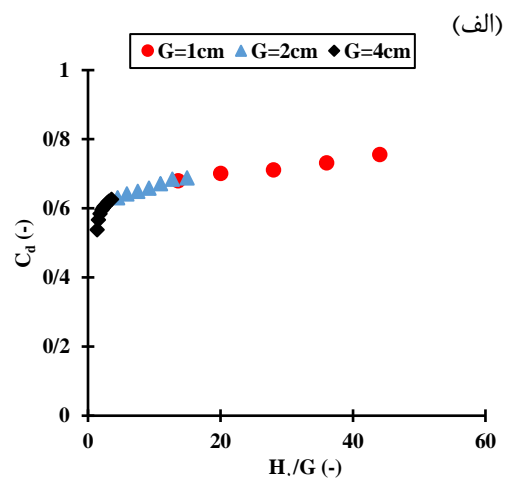
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{d_{exp}} - C_{d_{cal}})_i^2}{n}} \quad (14)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SS_{Regression}}{SS_{Total}} \quad (15)$$

در روابط فوق، exp و cal به ترتیب بیانگر نتایج آزمایشگاهی و محاسباتی، n تعداد کل داده‌ها، $SS_{Regression}$ (Sum Squared Regression Error) و SS_{Total} (Sum Squared Total Error) به ترتیب خطای رگرسیون مجموع مربعات و مجموع مربعات خطای کل می‌باشند. مقادیر روابط (۱۲، ۱۳ و ۱۴)، هرچه به عدد صفر و مقدار رابطه (۱۵)، هرچه به عدد یک نزدیک باشند، بیانگر دقت بالای روابط ارائه شده می‌باشد (Daneshfaraz et al. 2022).

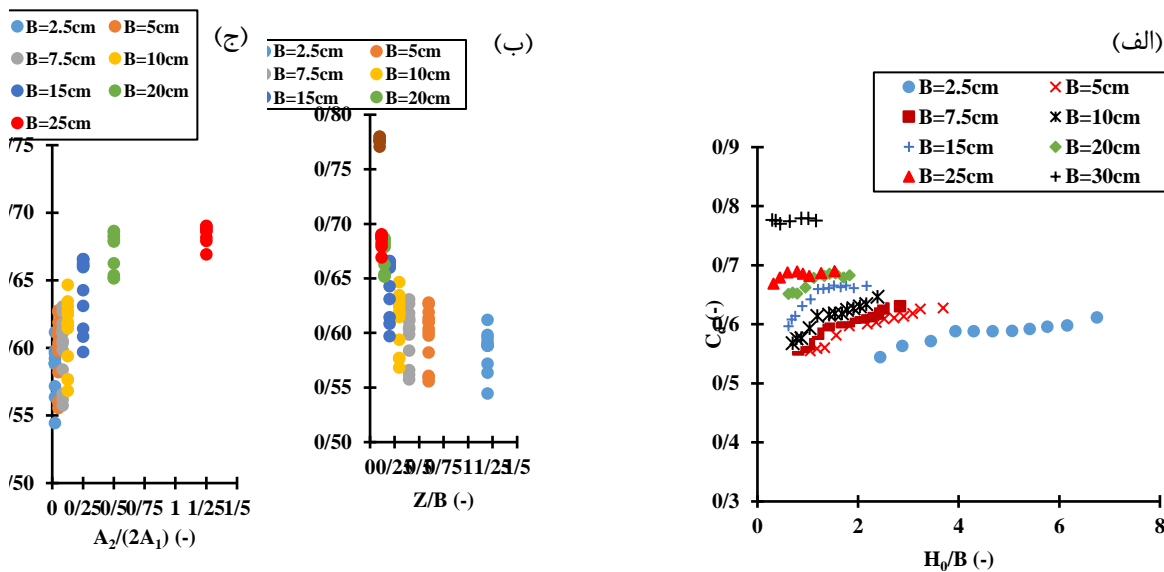
نتایج و بحث

یکی از مشخصه‌های جریان که در رابطه با شناخت رفتار جریان اهمیت بالایی دارد، ضریب‌دبی جریان است. بر اساس تشابه ابعادی، بررسی نتایج آزمایشگاهی توسط پارامتر بدون بعد ضریب‌دبی (C_d) صورت گرفته است. شکل (۳-الف) میزان تغییر ضریب‌دبی در حالت بدون آستانه در بازشدگی‌های مختلف دریاچه کشویی را نشان می‌دهد که در آن محور افقی پارامتر بی‌بعد نسبت عمق بالادست به بازشدگی دریاچه (H_0/G) و محور قائم ضریب‌دبی جریان



در پشت دریچه، کم‌تر شده تا این‌که مقدار ضریب‌دبی تحت تأثیر افزایش عمق پشت دریچه قرار نمی‌گیرد. شکل (۴-ب)، نمودار ضریب‌دبی در برابر پارامتر بی بعد Z/B با ارتفاع آستانه $0.3/0$ متر را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴-ب)، نتایج حاکی از آن است که با ثابت نگه داشتن ارتفاع آستانه، در تمامی مدل‌ها و همچنین افزایش عرض آستانه، ضریب‌دبی با افزایش دبی روندی افزایشی دارد. در شکل (۴-ج)، تأثیر میزان بازشدگی دریچه و به تبع آن مساحت جریان عبوری از زیر دریچه بر ضریب‌دبی آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش نسبت مساحت جریان عبوری بالای آستانه به مساحت جریان در طرفین آستانه، ضریب‌دبی افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش عرض آستانه، مساحت جریان عبوری در طرفین آستانه کاهش یافته و بنابراین در آستانه با عرض بزرگ‌تر، مساحت کل جریان عبوری کم‌تر از آستانه با عرض کوچک‌تر خواهد بود که منجر به افزایش ضریب‌دبی می‌گردد. همچنین وجود آستانه با حداقل عرض زیر دریچه کشویی در مقایسه با حالت بدون آستانه باعث افزایش ضریب‌دبی می‌شود به طوری که این افزایش حاکی از کاهش مساحت کل جریان عبوری از زیر دریچه می‌باشد.

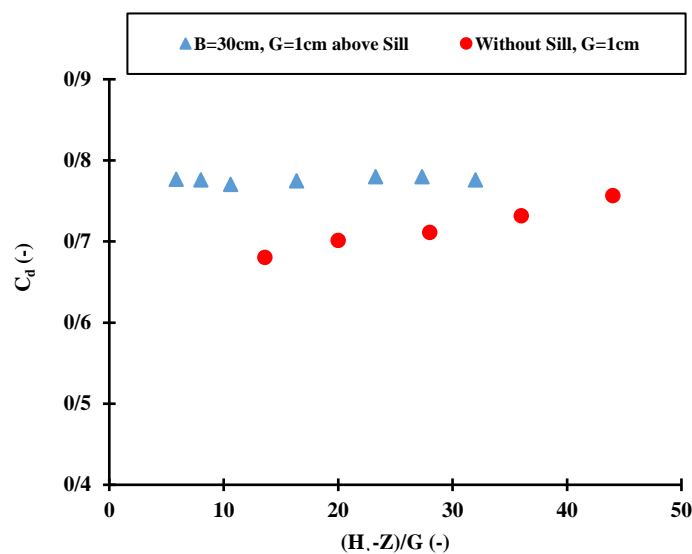
برای بررسی تأثیر آستانه هم‌عرض و غیرهم‌عرض بر ضریب‌دبی دریچه کشویی، آستانه مستطیلی به ضخامت 5 سانتی‌متر و ارتفاع 3 سانتی‌متر، در عرض‌های مختلف، در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفت. در شکل (۴-الف)، تأثیر پارامتر بی بعد نسبت عمق بالادست به عرض آستانه نشان داده شده است. با توجه به شکل (۴-الف)، با افزایش عرض آستانه، ضریب‌دبی افزایش می‌یابد، به طوری که آستانه با کم‌ترین عرض دارای حداقل مقدار ضریب‌دبی در بین آستانه‌ها می‌باشد. دلیل افزایش ضریب‌دبی با افزایش عرض آستانه را می‌توان به توزیع یکنواخت جریان به سمت دریچه عنوان نمود. با افزایش عرض آستانه در زیر دریچه، آستانه همانند مانع عمل کرده و در پائین‌دست آستانه آب به یک‌باره و یکنواخت از روی آستانه رها می‌شود. جریان برگشتی به سمت آستانه با افزایش عرض به کم‌ترین میزان می‌رسد که منجر به کاهش اتلاف انرژی و تلاطم جریان خروجی از زیر دریچه شده و باعث افزایش ضریب‌دبی می‌شود. همچنین با توجه به شکل (۴-الف)، مشاهده می‌گردد که با افزایش نسبت عمق جریان بالادست دریچه به عرض آستانه، ضریب‌دبی روند تقریباً افزایشی دارد. لازم به ذکر است که میزان افزایش در ضریب‌دبی با افزایش عمق



شکل (۴): تغییرات ضریب‌دبی در برابر نسبت عمق بالادست به عرض آستانه (ب) ارتفاع آستانه به عرض آستانه (ج) مساحت جریان عبوری بالای آستانه به مساحت جریان در کناره‌های آستانه

می‌باشد. وجود آستانه زیر دریچه کشویی در مقایسه با حالت بدون آستانه، در یک بازشدگی یکسان، باعث افزایش ضریب‌دبی و عملکرد بهتر سیستم از نظر میزان آبگذری دارد. به‌طور میانگین وجود آستانه هم‌عرض کانال زیر دریچه کشویی در مقایسه با حالت بدون آستانه در یک بازشدگی ثابت (۱ سانتی‌متر)، باعث افزایش ۷/۷۵ درصدی ضریب‌دبی می‌گردد.

به‌منظور برازش مطلوب داده‌ها و مقایسه آن، پارامتر ضریب‌دبی در برابر پارامتر $(H_0-Z)/G$ ، رسم گردید (شکل ۵). در شکل (۵)، مقایسه‌ای بین ضریب‌دبی دریچه کشویی حالت بدون آستانه در بازشدگی ۱ سانتی‌متر و با آستانه هم‌عرض کانال صورت پذیرفت. لازم به‌ذکر است که میزان بازشدگی در بالای آستانه هم‌عرض کانال نیز ۱ سانتی‌متر



شکل (۵): مقایسه ضریب‌دبی بین حالت بدون آستانه و با آستانه در بازشدگی یکسان

در تحقیق حاضر تمامی آستانه‌ها، در زیر دریچه کشویی با بازشدگی ۴ سانتی‌متر قرار داده شده‌اند به‌طوری که با نصب آستانه‌های غیرهم‌عرض زیر دریچه، میزان بازشدگی در طرفین آستانه ۴ سانتی‌متر و بالای آستانه به ۱ سانتی‌متر تغییر می‌یابد. در جدول (۲)، تعدادی از دبی‌های آزمایشگاهی به‌همراه ضرایب‌دبی متناظر برای نمونه آورده شده است. در یک دبی یکسان، ضریب‌دبی حاصل از به‌کارگیری آستانه در زیر دریچه‌کشویی بیشتر از حالت بدون آستانه بوده و با افزایش عرض آستانه این روند افزایش می‌یابد. بنابراین آستانه‌های غیرهم‌عرض با توجه به عملکرد مطلوب آن از نظر افزایش میزان راندمان دبی عبوری و همچنین جلوگیری از تجمع رسوبات در پشت دریچه، می‌تواند مورد توجه و استفاده قرار گیرد.

جدول (۲): مقایسه ضریب دبی در حالت بدون آستانه و آستانه با عرض‌های مختلف

عرض آستانه (cm)	بدون آستانه	B=۲/۵	B=۵	B=۷/۵	B=۱۰	B=۱۵	B=۲۰	B=۲۵	B=۳۰
		G=۴							
۳۵۰	-	-	۰/۵۵۵۴	۰/۵۵۷۳	۰/۵۶۸۳	۰/۵۹۶۹	۰/۶۵۱۵	۰/۶۸۹۷	۰/۷۷۹۷
۳۷۵	-	-	۰/۵۵۹۲	۰/۵۶۱۷	۰/۵۷۶۳	۰/۶۰۸۳	۰/۶۵۳۸	۰/۶۸۶۰	۰/۷۷۶۰
۴۰۰	۰/۵۳۷۷	۰/۵۴۴۵	۰/۵۶۰۴	۰/۵۶۵۸	۰/۵۷۶۹	۰/۶۱۴۳	۰/۶۵۲۰	۰/۶۸۱۸	-
۴۵۰	۰/۵۶۶۷	۰/۵۶۷۵	۰/۵۸۲۰	۰/۵۸۳۸	۰/۵۹۳۸	۰/۶۳۱۰	۰/۶۶۲۵	۰/۶۸۶۸	-

آستانه و با آستانه به صورت روابط (۱۶) و (۱۷)، در نظر گرفته شد:

$$C_d = a \times \left(\frac{H_0}{G}\right)^B + c \quad (16)$$

$$C_d = a \times \left(\frac{A_{total}}{A_2}\right)^b + c \left(\frac{H_0 - Z}{B}\right)^d \times e \left(\frac{H_0}{B}\right)^f \quad (17)$$

در روابط بالا ضرایب a ، b ، c ، d و e و f اعداد ثابت بوده و به صورت پیش فرض یک در نظر گرفته شد. با بهره‌گیری از Solver نرم‌افزار اکسل، معادلات پیشنهادی به منظور دستیابی به فرم مناسب آن با کم‌ترین میزان خطا، پس از ساده سازی مطابق روابط (۱۸) و (۱۹)، ارائه گردید:

$$C_d = 0.1529 \times \left(\frac{A_{total}}{A_2}\right)^{-1.2093} + 0.6511 \left(\frac{H_0 - Z}{B}\right)^{0.2565} \times \left(\frac{H_0}{B}\right)^{-0.2668} \quad (19)$$

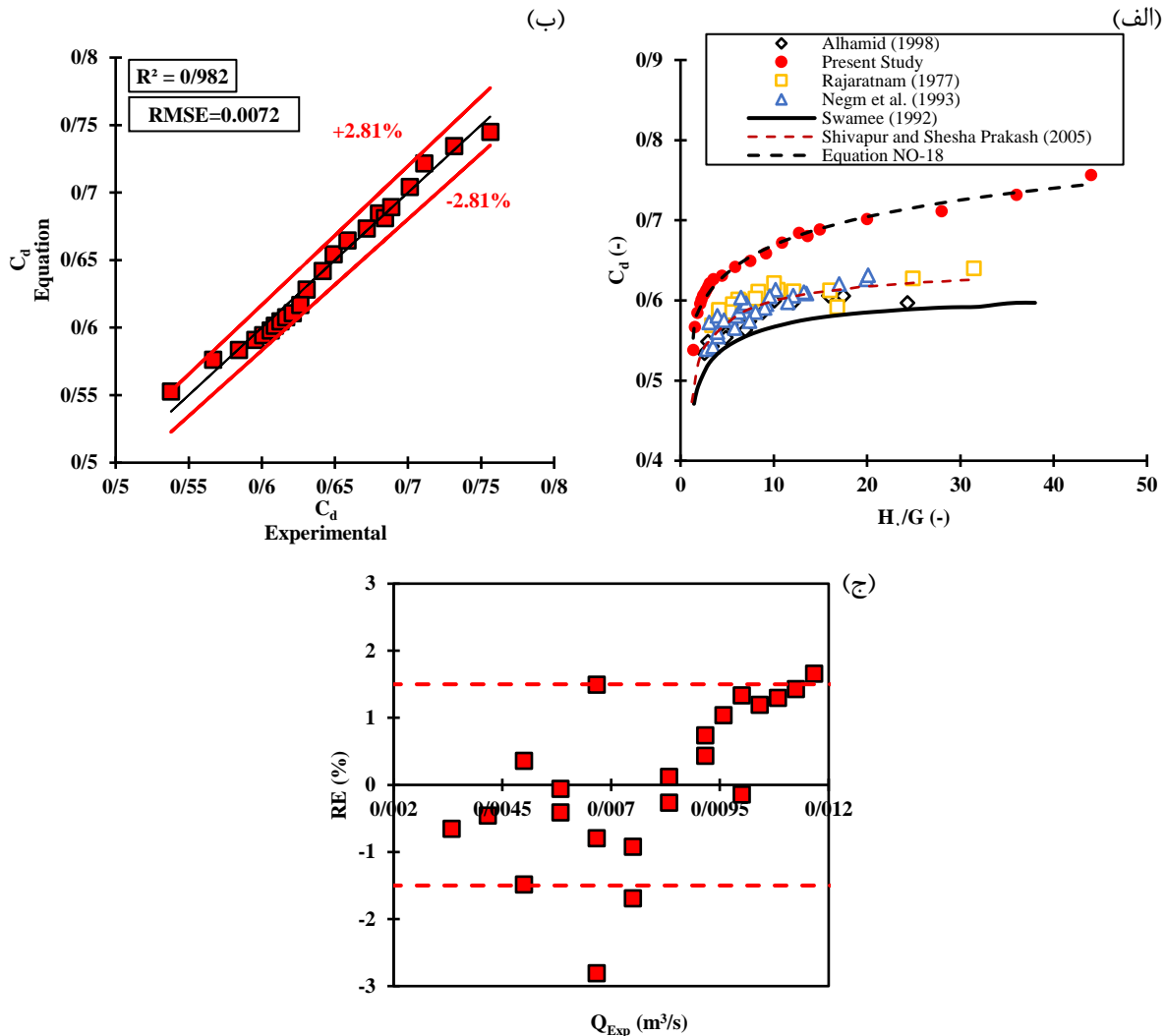
می‌کند (۶-ب). در شکل (۶-ج)، با جایگذاری ضرایب دبی به دست آمده از رابطه پیشنهادی (۱۸)، در رابطه (۱)، مقایسه‌ای بین میزان دبی عبوری حاصل از نتایج آزمایشگاهی با رابطه (۱)، انجام یافت. همان‌طور که در شکل (۶-ج)، مشاهده می‌گردد، درصد خطای نسبی و یا به عبارت دیگر ماکزیمم درصد انحراف دبی $5/1 \pm$ ٪ در نظر گرفته شد. ملاحظه می‌گردد که دامنه گسترده‌ای از داده‌ها در باند خطای $5/1 \pm$ ٪ قرار گرفته‌اند. این مسئله بیانگر این است که فرمول پیشنهادی دقت بسیار مناسبی دارد، به طوری که بیش از ۸۲٪ داده‌ها دارای خطایی کم‌تر از $5/1 \pm$ ٪ هستند.

همچنین در تحقیق حاضر به منظور پیش‌بینی ضریب دبی در حالات با آستانه و بدون آستانه، معادلاتی در محدوده تحقیق حاضر ارائه گردید. نحوه تعیین معادلات به این صورت بود که با تعیین مقادیر متناظر پارامترهای بی‌بعد حاصل از تشابه ابعادی و تلفیق داده‌های مذکور، معادلات مطابق روند زیر محاسبه گردید:

ابتدا شکل غیرخطی برای روابط پیشنهادی ضریب دبی به صورت توابعی از پارامترهای بدون بعد تعیین شد. شکل کلی برای معادلات پیشنهادی به ترتیب برای حالت بدون

$$C_d = 2.7465 \left(\frac{H_0}{G}\right)^{0.0177} - 2.1916 \quad (18)$$

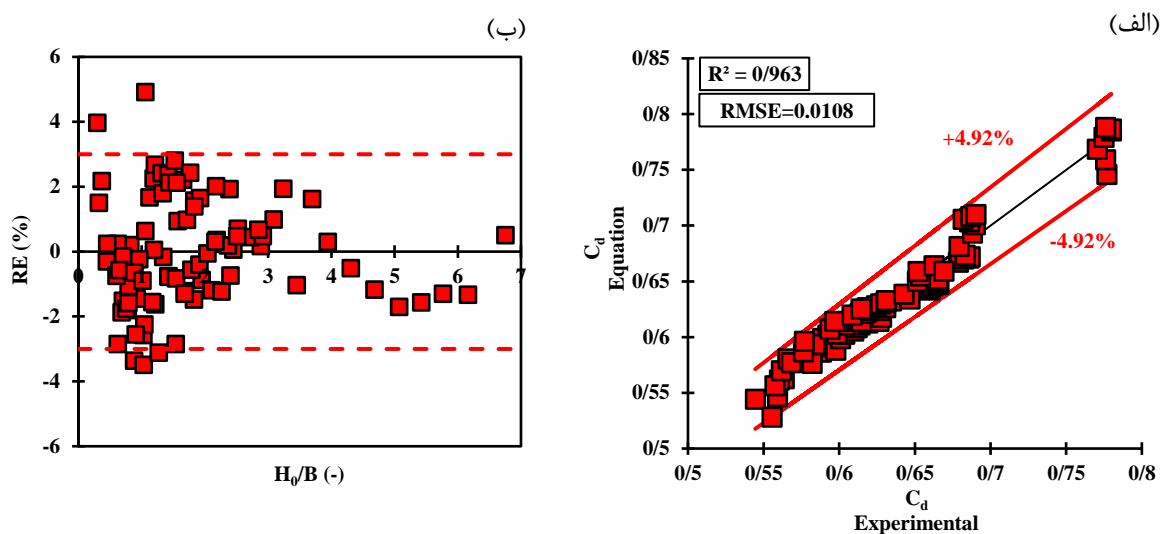
در شکل (۶-الف)، نتایج ضریب دبی در تحقیق حاضر در حالت بدون آستانه با نتایج آزمایش‌های (Swamee, 1992)، (Negm et al. 1993)، (Rajaratnam, 1997)، (Alhamid, 1998) و (Shivapur and Shesha, 2005) (Prakash, 2005) مقایسه شده است. رابطه (۱۸)، با داده‌های موجود دیگر محققان در شکل (۶-الف)، همخوانی مطلوبی داشته و مقدار ضریب دبی را به طور مناسب و به ترتیب با حداکثر درصد خطای نسبی، میانگین درصد خطای نسبی، میانگین مطلق و خطای جذر میانگین مربعات $2/81$ ٪، $0/97$ ٪، $0/061$ و $0/072$ پیش‌بینی



شکل (۶): الف) مقادیر ضریب دبی دریاچه کشویی در حالت بدون آستانه در تحقیق حاضر و دیگر محققان ب) نمودار مقایسه مقادیر محاسباتی و آزمایشگاهی ج) نمودار درصد خطای نسبی در برابر دبی آزمایشگاهی

نسبی $4/92\%$ است. همچنین مقادیر میانگین درصد خطای نسبی، میانگین خطای مطلق و خطای جذر میانگین مربعات به ترتیب $1/36\%$ ، $0/087$ و $0/108$ می باشد. در شکل (۷-۹) ب)، پارامتر مستقل H_0/B در برابر درصد خطای نسبی نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می گردد که 94% داده ها در باند خطای $\pm 3\%$ قرار دارند که نشانگر دقت بالای رابطه پیشنهادی می باشد که با اطمینان بالا می تواند به کار گرفته شود.

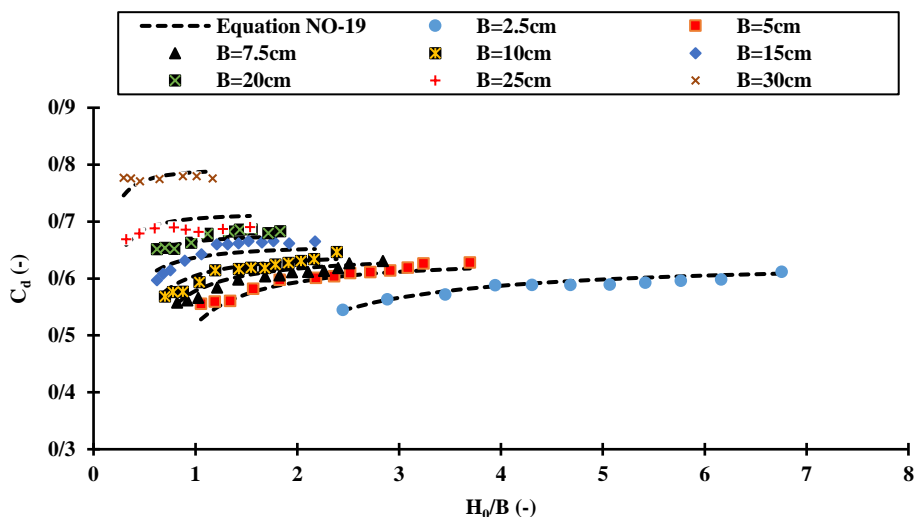
رابطه (۱۹) را می توان برای حالت با آستانه غیرهم عرض و هم عرض زیر دریاچه کشویی به کار برد. در آستانه هم عرض کانال، $A_{total} = A_2$ خواهد بود. یکی از راه های مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی با رابطه (۱۹)، به منظور تعیین دقت آن بررسی مقدار اختلاف بین ضرایب دبی به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی با ضرایب دبی محاسبه شده از رابطه پیش بینی شده می باشد. بررسی شکل (۷-الف)، حاکی از روند مطلوب نتایج بین مقادیر محاسباتی با آزمایشگاهی می باشد. به طوری که با توجه به شکل حداکثر مقدار درصد خطای



شکل (۷): نمودار مقایسه مقادیر محاسباتی و آزمایشگاهی ضریب دبی در حالت با آستانه (ب) نمودار پراکندگی خطای نسبی داده‌ها

ضرایب دبی توسط معادله پیشنهاد شده می‌باشد. با توجه به شکل (۸)، مشاهده می‌شود که معادله پیشنهادی به صورت غیرخطی و با برازشی مناسب از میان داده‌های حاصل از نتایج آزمایشگاهی عبور می‌کند.

مطابق شکل (۸)، مقایسه‌ای میان ضرایب دبی به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی برای تمامی آستانه‌ها با عرض‌های مختلف و ضرایب دبی حاصل از فرمول پیشنهادی (۱۹)، صورت پذیرفت. در این نمودارها خطوط چین‌دار نمایانگر



شکل (۸): نمودار مقایسه میان ضرایب دبی حاصل از معادله پیشنهادی و آزمایشگاهی برای آستانه‌های مدل شده

مختلف ۱، ۲ و ۴ سانتی‌متر و با آستانه هم‌عرض و غیرهم‌عرض در ابعاد ۲/۵، ۵، ۷/۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ سانتی‌متر زیر دریچه کشویی در بازشدگی ثابت پرداخته شد. در این پژوهش آزمایش‌ها در بازه دبی ۱۵۰ الی ۷۵۰

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی دریچه کشویی در حالت بدون آستانه در بازشدگی‌های



هم‌عرض کانال در یک بازشدگی ثابت دارد. به‌طور میانگین وجود آستانه هم‌عرض کانال زیر دریچه کشویی در مقایسه با حالت بدون آستانه در یک بازشدگی ثابت ۱ سانتی‌متر، باعث افزایش ۷/۷۵ درصدی ضریب‌دبی می‌گردد. با مقایسه میزان افزایش ضریب‌دبی می‌توان نتیجه گرفت پارامتر عرض آستانه بیشترین تأثیر را بر ضریب‌دبی در تحقیق حاضر دارد و آستانه با کم‌ترین عرض دارای حداقل مقدار ضریب‌دبی در بین آستانه‌ها می‌باشد. همچنین مشاهدات نشان داد که با افزایش عرض آستانه خطوط جریان عبوری از زیر دریچه منظم‌تر شده و همچنین باعث کاهش اتلاف انرژی و تلاطم جریان می‌شود. همچنین افزایش عرض آستانه باعث می‌شود تا مساحت کل جریان عبوری از زیر دریچه کاهش یابد که منجر به افزایش ضریب‌دبی می‌شود. با استفاده از برنامه Solver در نرم‌افزار اکسل روابط چند جمله‌ای رگرسیونی غیر خطی با ضریب همبستگی ۰/۹۸۲ و ۰/۹۶۳ به ترتیب برای حالت با آستانه و بدون آستانه که تابعی از پارامترهای بدون بعد موثر حاصل از آنالیز ابعادی هستند، به دست آمد که به‌منظور پیش‌بینی ضریب‌دبی در حالت بدون آستانه و با آستانه هم‌عرض و غیرهم‌عرض کانال در شرایط جریان آزاد با اطمینان بالا می‌توانند به‌کار گرفته شوند.

پیشنهادهات

در این پژوهش آزمایش‌ها در شرایط جریان آزاد برای دریچه کشویی در حالت آستانه‌های هم‌عرض و غیرهم‌عرض مورد بررسی قرار گرفته است. پیشنهاد می‌گردد شرایط جریان مستغرق در پژوهش‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد.

لیتر بر دقیقه و عمق آب بالادست ۰/۰۵۳ الی ۰/۴۴ متر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در حالت بدون آستانه و در بازشدگی‌های مختلف دریچه کشویی، ضریب‌دبی با میزان بازشدگی دریچه رابطه عکس دارد. مهم‌ترین عامل بر ضریب‌دبی دریچه کشویی در حالت بدون آستانه، عمق جریان بالادست و میزان بازشدگی است که در یک دبی ثابت با افزایش میزان بازشدگی، عمق آب بالادست دریچه کاهش یافته و ضریب‌دبی روند کاهشی نسبت به بازشدگی کم‌تر به‌خود می‌گیرد. به‌طوری‌که میانگین ضریب‌دبی بازشدگی ۱ سانتی‌متر در مقایسه با بازشدگی ۲ و ۴ سانتی‌متر به ترتیب ۷/۷۵٪ و ۱۶/۵۱٪ بیشتر بوده و حداکثر مقدار آن ۱۶/۶۲٪ و ۲۸/۹٪ می‌باشد. مقایسه نتایج به‌دست آمده برای ضریب‌دبی در حالت با آستانه و بدون آستانه حاکی از عملکرد بهتر وجود آستانه زیر دریچه کشویی از نظر افزایش ضریب‌دبی دارد. در تحقیق حاضر رابطه عمومی محاسبه دبی برای حالت هم‌عرض (رابطه ۲)، برای آستانه غیرهم‌عرض توسعه داده شد و محاسبات بر اساس رابطه جدید که برای حالت با آستانه غیرهم‌عرض ارائه شده است (رابطه ۳) در تحقیق حاضر انجام پذیرفت که برای آستانه‌های متقارن و غیر متقارن غیرهم‌عرض می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. نتایج نشان داد که کاربرد آستانه زیر دریچه کشویی، منجر به افزایش ضریب‌دبی می‌گردد. به‌طوری‌که با جایگذاری تمامی مدل‌های آستانه در زیر بازشدگی ۴ سانتی‌متر دریچه، ضریب‌دبی جریان در مقایسه با حالت بدون آستانه در همان بازشدگی، افزایش پیدا می‌کند. همچنین مقایسه نتایج ضرایب‌دبی بین حالت آستانه هم‌عرض کانال و حالت بدون آستانه در بازشدگی ۱ سانتی‌متر حاکی از افزایش ضریب‌دبی در حالت آستانه

منابع

- رضاووند منفرد، ن. ۱۳۹۶. بررسی عددی تأثیر شکل و ارتفاع آستانه بر روی الگوی جریان در دریچه‌ها. گروه مهندسی آب. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز
- سلماسی، ف. و نوروزی سرکارآباد، ر. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر شکل‌های مختلف هندسی آستانه بر ضریب دبی جریان دریچه کشویی عمودی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، سال پنجاه و دوم، شماره ۱، ص ۲۱-۳۶.



- Alhamid, A. A. 1998. Coefficient of Discharge for Free Flow Sluice Gates. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 11(1): 33-47.
- Daneshfaraz, R., Abbaszadeh, H., Gorbanvatan, P. and Abdi, M. 2021. Application of Sluice Gate in Different Positions and Its Effect on Hydraulic Parameters in Free-Flow Conditions. *Journal of Hydraulic Structures*, 7(3), 72-87.
- Daneshfaraz, R., Ghahramanzadeh, A., Ghaderi, A., Joudi, A.R. and Abraham, J. 2016, Investigation of the Effect of Edge Shape on Characteristics of Flow under Vertical Gates. *Journal of American Water Works Association*, [Doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0102](https://doi.org/10.5942/jawwa.2016.108.0102)
- Daneshfaraz, R., Norouzi, R., Abbaszadeh, H., Kuriqi, A. and Di Francesco, S. 2022. Influence of sill on the hydraulic regime in sluice gates: an experimental and numerical analysis. *Fluids*, 7(7), 244. <https://doi.org/10.3390/fluids7070244>
- Ghorbani, M.A., Salmasi, F., Saggi, M. K., Bhatia, A. S., Kahya, E. and Norouzi, R. 2020. Deep Learning under H2O Framework: A Novel Approach for Quantitative Analysis of Discharge Coefficient in Sluice Gates. *Journal of Hydroinformatics*, 22 (6): 1603-1619
- Henry, H. R. 1950. Discussion on "Diffusion of Submerged jets, "by Albertson, M. L. et al., *Trans. Am. Society Civil Engrs*, 115, 687.
- Karami, S., Heidari, M. M. and Adib Rad, M. H. 2020. Investigation of Free Flow Under the Sluice Gate with the Sill Using Flow-3D Model. *Iran J Sci Technol Trans Civ Eng*, 44: 317–324, [Doi: 10.1007/s40996-019-00310-x](https://doi.org/10.1007/s40996-019-00310-x)
- Khalili Shayan. H. and Farhoudi, J. 2013. Effective Parameters for Calculating Discharge Coefficient of Sluice Gates. *Flow Measurement and Instrumentation*, 33: 96-105.
- Negm, A. M. Alhamid, A.A. and El-Saiad, A. A. 1998. Submerged Flow Below Sluice Gate with sSill: Conference: Proceedings of International Conference on Hydro-Science and Engineering Hydro-Science and Engineering ICHE98, *Advances in Hydro-Science and Engineering*, Vol.III, Published on CD-Rom and A Booklet of Abstracts, 31 Aug.-3 Sep. 1998, Cottbus/Berlin, G.
- Negm, A. M., Abdellateef, M. and Owais, T. 1993. Effect of Undergate Sill Crest Shape on the Supercritical Free Flow Characteristics, *Proc. AEIC 93 Conference*, 18. 21Dec. 1993. Cairo. pp .230-241.
- Rajaratnam, N. 1977. Free Flow Immediately Below Sluice Gates: *Journal of the Hydraulics Division*, 103(4): 345-351.
- Rajaratnam, N. and Subramanya, K. 1967. Flow Equation for the Sluice Gate. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 93(3): 167-186.
- Salmasi, F. and Abraham, J. 2020. Prediction of Discharge Coefficients for Sluice Gates Equipped with Different Geometric Sills under the Gate Using Multiple non-linear Regression (MNL). *Journal of Hydrology*, DOI: [10.1016/j.jhydrol.2020.125728](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125728)
- Salmasi, F., Nouri, M., Sihag, P. and Abraham, J. 2021. Application of SVM, ANN, GRNN, RF, GP and RT Models For Predicting Discharge Coefficients of Oblique Sluice Gates Using Experimental Data. *Water Supply*, 21 (1): 232-248.
- Shivapur, A. V. and Shesha Prakash, M. N. 2005. Inclined Sluice Gate for Flow Measurement. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 11 (1): 46-56.



Swamee, P. K. 1992. Sluice Gate Discharge Equations. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 118(1): 56-60.



Experimental Study of the Effect of Suppressed and Non-suppressed Sill on Sluice Gate Discharge Coefficient under Free-Flow Condition

Rasoul Daneshfaraz^{1*}, Reza Norouzi², Hamidreza Abbaszadeh³

Abstract

Vertical sluice gate is a structure that is installed on the channel to control the upstream flow. The purpose of this study is to investigate the effect of sluice gate opening and effect of the presence of suppressed and non-suppressed sill below sluice gate on the discharge coefficient under free-flow conditions. Therefore, rectangular sills with different widths of 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 25 and 30cm at constant gate opening and sluice gate with openings of 1, 2 and 4cm in without sill state were studied. The results showed that in the without sill state, the amount of gate opening is inversely related to the discharge coefficient, so that by decreasing the gate opening rate, the discharge coefficient increases. On average, the discharge coefficient of 1cm gate opening is higher than that of 2 and 4cm, 7.75% and 16.51%, respectively. The results also showed that with increasing the sill width and thus reducing the total area of the flow through the gate, the discharge coefficient increases and vice versa. The presence of a sill with a minimum width compared to the non-sill state in a specified opening leads to an increase in the discharge coefficient. At the same opening in the without sill state and suppressed sill at a constant flow, the sluice gate discharge coefficient with sill increases in comparison with no sill state. In the present study, based on the dimensionless parameters, nonlinear regression polynomial relations were presented by combining all experimental data to predict the discharge coefficient in without and with sill state in different widths.

Keywords: Sluice Gate, Suppressed Sill, Non-Suppressed Sill, Gate Opening, Discharge Coefficient

¹ Professor, University of Maragheh / Department of Civil Engineering; corresponding author Email: daneshfaraz@maragheh.ac.ir, Tel: 09143202126

² Ph.D., University of Tabriz / Department of water Engineering; Email: rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir, Tel: 09147084338

³ M.Sc. student, University of Maragheh / Department of Civil Engineering; Email: abbaszadeh@stu.maragheh.ac.ir, Tel: 09143325326