



Research Paper

Numerical Investigation on Effective Parameters on Hydraulic Flows in a Sluice Gate with Sill on Free-Flow Condition

Rasoul Daneshfaraz¹, Reza Norouzi^{2*}, Parisa Ebadzadeh³ and Hamid Reza Abbaszadeh³

¹Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

²PhD Alumni, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Maragheh, Iran

Article information

Received: July 17, 2021

Revised: October 24, 2021

Accepted: October 25, 2021

Keywords:

Discharge Coefficient

Flow Pattern

Flow Pressure

Flow Velocity

FLOW-3D

*Corresponding author:

rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir



Abstract

The presence of a sill under the sluice gate is one of the solutions to control the flow rate. This study was conducted to numerically investigate the discharge coefficient (C_d) of sluice gates with different heights and widths of sills in free flow conditions. The simulations were performed using FLOW-3D software. Results show that C_d increases as the gate opening decreases. Also, results showed that reducing the gate opening from 5 cm to 2 cm increases the C_d in the gate with sill by 9% compared to the non-sill gate. Discharge coefficients with 1 cm and 4 cm sills, compared to the non-sill condition were estimated at 1.5% and 18%, respectively. Examination of sill width changes showed that decreasing the width reduces the discharge coefficient by reducing the amount of velocity and flow pressure along the sill sides. The effects of three parameters of the gate opening, sill height, and sill width were compared. The results showed that increasing the sill width compared to the two mentioned parameters has the maximum increase in the C_d .

© 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

Gates are one of the most important flow control structures that are used to regulate and distribute flow in irrigation canals. One of the most widely used types of Gates is the

sluice gate. One of the solutions to increase the discharge of the sluice gate is to use a sill under the gate. So that by studying the sills more, methods can be adopted to increase the discharge coefficient of sluice gates. In



recent years, the effect of sills with different geometric shapes has been studied by researchers to select the appropriate sill to increase the discharge coefficient of sluice gates. Investigation of the dimensions of the sill is one of the issues affecting the flow discharge coefficient. In this study, the sill dimensions including height and sill width were investigated and simulated. Using sills at different heights and widths have a distinct effect on the discharge coefficient. Because the sill reduces the effective width of the channel. The cross-section under the sluice gate will be different with the use of sills in different dimensions.

Material and Methods

In the present study, the simulations were performed using FLOW-3D software edition 11 (Ver. 2). The results of numerical data are validated with the experimental results of Alhamid (1999), and the conditions without sill were used. The experiments were performed on a 9.45 m long and 30.5cm wide flume. A symmetry (S) boundary condition was used for the upper boundary, specific discharge (Q) was used for the input flow, and outlet (O) conditions for flow for the downstream boundary. Wall (W) boundary conditions were used for the bed and sidewalls. To compare numerical and experimental values, the statistical indices of absolute error percentage (AE) and relative error percentage (RE) were used. To reduce the error in selecting the appropriate mesh, the cell size was gradually reduced. The results showed that the error rate in 0.06 cm was acceptable. To ensure the results, a cell size of 0.05 cm was also evaluated. In this case, the error value was calculated close to the previous case. In order to find the best turbulence model, calculations were performed using three turbulence models RNG, ω -k, and k- ϵ , then the results of turbulence models were compared with experimental results. RNG model, due to low values of relative error percentage and absolute error percentage were selected to continue the simulations, To calibrate the

numerical model, flow discharge coefficient at five different discharges were used. Finally, results were compared with experimental data. A total of 85 models were designed in states for simulations. Thus, in the first case, by keeping the constant value for the sill height, the effect of gate opening of 2 to 5 cm on the discharge coefficient was studied. In the next case, with the constant value for gate opening, the sill was installed at four heights of 1, 2, 3, and 4 cm below the gate, and in the third case, the discharge coefficient with the sill was examined in the widths of 15.5, 20.5, 25.5 and 30.5 cm evaluated. The discharge range varied from 0.028 to 0.012 m³/s. Each experiment involves measuring the water depth upstream of the gate and calculating the discharge coefficient of the sluice gate through Eq. (1).

$$C_d = \frac{Q}{GB\sqrt{2gH}} \quad (1)$$

Results

The results of the numerical solution of the present study were compared with the experimental results of another research. The value of the root of the mean square error (RMSE) and correlation coefficient (R²) were estimated to be 0.03 and 0.98, respectively. The results of gate opening changes showed that the reduction of opening in two states without a sill and with a sill affects the discharge coefficient. In other words, the discharge coefficient increases with decreasing opening. Finally, the maximum discharge coefficient is for the minimum opening, and with an increasing opening from 2 cm to 5 cm, the discharge coefficient decreases. The results showed that at the highest opening (G = 5 cm), the discharge coefficient with a sill of 1.35% and the lowest opening (G = 2 cm), 9% compared to the without sill state. The effect of sill height on the discharge coefficient showed that the presence of sill at all heights increases the discharge coefficient of the gate. Because the sill with the lowest height has also increased the discharge coefficient compared to the without sill state. Sill placement at different widths showed that reducing the sill width reduces the flow

velocity adjacent to the flume walls. So that the minimum velocity is related to the sill with the lowest width and with increasing the sill width, the values of longitudinal velocity adjacent to the sill increase. Investigation of the discharge coefficient at the sill with the smallest width showed that this sill has the minimum value of the discharge coefficient between the sills. Because with increasing width, the cross-section of the flow under the gate decreases and as a result increases the coefficient of flow.

Conclusions

The most important results of the present study can be expressed as follows:

1. Decrease in the rate of the gate opening, in the without sill state, caused an increase in the discharge coefficient of the sluice gate. By placing the sill under the gate, the discharge coefficient also increased with decreasing gate opening.
2. The results of sill height changes showed that the presence of the sill even with the minimum height affects the performance of the sluice gate, which means that it increases

the discharge coefficient. The minimum and maximum increase of discharge coefficient at the sill with the height of 1 and 4 cm were calculated 1 and 18% compared with the without sill state, respectively.

3. Examination of sill discharge coefficient with changes in sill width showed that the discharge coefficient at the suppressed sill has increased by 20% compared to the without sill state. Because the sill with a larger width reduces the cross-sectional area of the flow and thus increases the discharge coefficient.

Acknowledgment

The authors of the article would like to thank all those who contributed to the writing of the article.

Data Availability

The data can be sent on request by the corresponding author via email.

Conflicts of interest

The authors of this paper 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 پارامترهای مؤثر بر هیدرولیک جریان دریاچه کشویی با آستانه در شرایط جریان آزاد

رسول دانشفراز^۱، رضا نوروژی^{۲*}، پریسا عبادزاده^۳ و حمیدرضا عباسزاده^۴^۱استاد، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران^۲دانش آموخته دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران^۳دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

اطلاعات مقاله

چکیده

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۴/۲۶]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۸/۰۲]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۸/۰۳]

واژه‌های کلیدی:

الگوی جریان

سرعت جریان

ضریب دبی

فشار جریان

FLOW-3D

*نویسنده مسئول:

rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir

تعبیه آستانه در زیر دریاچه کشویی از جمله راهکارهای کنترل دبی عبوری است. این پژوهش با هدف بررسی عددی ضریب دبی دریاچه کشویی با ارتفاع و عرض‌های مختلف آستانه در شرایط جریان آزاد انجام شد. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D صورت گرفت. نتایج نشان داد که با کاهش بازشدگی، ضریب دبی افزایش می‌یابد چرا که کاهش بازشدگی از ۵ به ۲ cm، ضریب دبی در حالت با آستانه را ۹٪ نسبت به حالت بدون آستانه افزایش داد. میزان افزایش ضریب دبی دریاچه کشویی با آستانه به ارتفاع ۱ و ۴ cm نسبت به حالت بدون آستانه به ترتیب ۱/۵ و ۱۸٪ برآورد شد. بررسی تغییرات عرض آستانه نشان داد که کاهش عرض آستانه، با کاهش در مقدار سرعت و فشار جریان درکناره‌های آستانه، ضریب دبی را کاهش می‌دهد. تأثیر سه پارامتر بازشدگی دریاچه، ارتفاع و عرض آستانه مقایسه گردید. نتایج نشان داد که افزایش عرض آستانه نسبت به دو پارامتر ذکر شده، حداکثر افزایش ضریب دبی را به همراه دارد.

۱- مقدمه

موارد به کارگیری دریاچه‌ها می‌توان به بالای تاج سرریز، محل خروج آب از دریاچه و کانال‌های آبیاری و زهکشی اشاره نمود. دریاچه‌ها خود به انواع مختلفی تقسیم می‌گردند که هرکدام دارای مزیت‌هایی می‌باشند. از پرکاربردترین نوع دریاچه‌ها، دریاچه‌های کشویی هستند. یکی از راهکارها به-

دریاچه‌ها ازجمله مهم‌ترین سازه‌های کنترل‌کننده جریان می‌باشند که برای تنظیم و توزیع جریان در شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند. دبی عبوری از زیر دریاچه‌ها به علت کنترل میزان آب رها شده و صرفه‌جویی در مصرف آب از مسائل مهم در مهندسی هیدرولیک به‌شمار می‌آید. ازجمله



آن‌ها نشان داد که زاویه شیب دریاچه از جمله پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی جریان می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش زاویه به ازای ارتفاع آب بالادست و یک بازشدگی ثابت، ضریب دبی افزایش می‌یابد. (Daneshfaraz et al. (2016)

به بررسی عددی تأثیر هندسه لبه دریاچه‌کشویی بر مشخصات جریان با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D پرداختند. آن‌ها با انتخاب دریاچه با ۵ شکل هندسی متفاوت شامل لبه ساده، گرد شکل، دندانه‌دار، لبه‌تیز در قسمت بالادست و لبه‌تیز در قسمت پایین‌دست، دبی عبوری از دریاچه‌کشویی را با بهره‌گیری از روش حجم محدود مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که محل فشار در همه دریاچه‌ها ثابت بوده ولی مقادیر آن‌ها متفاوت می‌باشد و همچنین نتایج نشان داد که ضریب دبی دریاچه لبه‌تیز نسبت به سایر دریاچه‌ها کمتر می‌باشد. (Rady (2016

به بررسی ویژگی‌های جریان زیر دریاچه‌های عمودی و مایل با استفاده از شبکه‌های مصنوعی پرداخت. ایشان مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) را مدلی مناسب برای پیش‌بینی ضریب دبی دریاچه‌های کشویی عمودی و مایل عنوان کرد. (Aydin and Emre (2017

با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D خطوط سرعت جریان را در پایین‌دست دریاچه‌کشویی بررسی کردند. مطالعات آن‌ها نشان داد که حضور آستانه در پایین‌دست دریاچه‌کشویی سبب کاهش سرعت جریان در این محدوده می‌گردد. (Karami et al. (2020

تأثیر پارامترهای هندسی آستانه بر ضریب دبی دریاچه‌های کشویی در جریان آزاد را با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که آستانه‌های نیم دایره‌ای و مستطیلی در صورتی که در زیر دریاچه‌کشویی قرار گیرند، باعث افزایش ضریب دبی دریاچه‌کشویی می‌گردند. (Salmasi and Norouzi (2020

به بررسی آزمایشگاهی تأثیر آستانه‌های چندوجهی و غیرچندوجهی بر ضریب دبی دریاچه‌کشویی پرداختند. با بررسی اشکال هندسی متفاوت روشن شد که آستانه مثلی در بین چندضلعی‌ها و آستانه دایروی در بین آستانه‌های غیرچندوجهی بیشترین ضریب دبی را دارند. به‌طوری‌که آستانه دایروی ضریب دبی را حداقل ۲۳٪ و حداکثر ۳۱٪ افزایش می‌دهد. (Salmasi and Abraham (2020

با مطالعه آزمایشگاهی، تأثیر شکل آستانه را بر ضریب دبی دریاچه‌کشویی مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر ضریب دبی را پارامتر عمق آب بالادست دریاچه‌کشویی بر محیط خیس

منظور افزایش دبی عبوری از زیر دریاچه‌کشویی استفاده از آستانه می‌باشد. به‌طوری‌که با مطالعه بیشتر آستانه‌ها، می‌توان روش‌هایی جهت افزایش ضریب دبی دریاچه‌های-کشویی اتخاذ نمود. یکی از مسائل مهم در رابطه با دریاچه‌های کشویی، دبی و به تبع آن ضریب دبی آن‌ها می‌باشد. بنابراین با مطالعه گسترده در این حوزه، می‌توان روش‌های مؤثری جهت عملکرد بهتر دریاچه‌ها ارائه کرد.

(Alhamid (1999

تأثیر هندسه آستانه بر ضریب دبی جریان زیر دریاچه‌کشویی را در شرایط جریان آزاد به‌صورت آزمایشگاهی بررسی نمود. نتایج ایشان نشان داد که آستانه دایره‌ای و در بین چندضلعی‌ها آستانه مثلی بیشترین تأثیر بر مقدار ضریب دبی را دارند. (Lin et al. (2002

به بررسی ضریب انقباض دریاچه‌کشویی در شرایط متفاوت هیدرولیکی پرداختند. آن‌ها در این مطالعه ضریب انقباض دریاچه‌کشویی را با هندسه انتهایی لبه تیز و مدور مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش ضریب انقباض برای دریاچه‌کشویی لبه‌تیز ۰/۵۹ تا ۰/۶۱ و برای دریاچه‌کشویی مدور برابر ۰/۶۵ تا ۰/۷۵ برآورد گردید. (Shivapur and Shesha Prakash (2005

با ایجاد تغییر در زاویه انحراف دریاچه‌کشویی، به بررسی ضریب دبی عبوری پرداختند. در این پژوهش، با انحراف دریاچه به سمت بالادست، چهار زاویه صفر، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که افزایش در زاویه انحراف دریاچه، به‌علت افزایش در همگرایی جریان عبوری ضریب دبی را افزایش می‌دهد. (Akoz et al. (2009

با سرعت جریان در بالادست دریاچه‌کشویی را به‌صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل آشفتگی $k-\epsilon$ دارای توانایی قابل توجهی در شبیه‌سازی پروفیل سطح آزاد آب و میدان سرعت نسبت به مدل آشفتگی $k-\omega$ می‌باشد. (Mohammed and Khaleel (2013

به مطالعه تأثیر زاویه انحراف دریاچه‌کشویی بر ضریب دبی همراه با تغییر در هندسه انتهایی پرداختند. در این تحقیق زاویه انحراف دریاچه‌کشویی در جهت جریان و خلاف جهت آن مورد بررسی قرار گرفت. (Khalilishayan et al. (2014

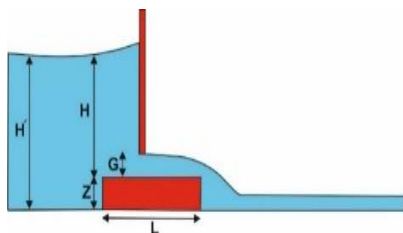
با مطالعه ضریب فشردگی دریاچه‌های کشویی، معادله‌ای برای تخمین ضریب دبی در شرایط آزاد ارائه دادند. نتایج نشان داد که معادله ارائه شده، دارای دقت بالایی بوده و قابل قبول می‌باشد. (Ilkhanipour-Zeinale et al. (2015

با تغییر شیب دریاچه‌کشویی مشخصات هیدرولیکی جریان را به‌صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. نتایج حاصل از مطالعات

نسبت به حالت شاهد (بدون آستانه) می‌گردد. همین امر ضریب‌دبی را که تابع مساحت بازشدگی دریاچه‌کشویی است را تحت تأثیر قرار می‌دهد. از آنجائیکه مطالعه تغییرات عرض آستانه بر ضریب‌دبی به‌صورت عددی تاکنون انجام نشده و بررسی آن در بین پژوهش‌ها خالی است، لذا در این پژوهش به بررسی تغییرات پارامترهای هیدرولیکی شامل ارتفاع و عرض آستانه پرداخته شد. مطالعه تغییرات سرعت، فشار و ضریب‌دبی جریان با جای‌گذاری آستانه در زیر دریاچه‌کشویی هدف اصلی پژوهش حاضر بود. شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D انجام و در نهایت میزان تغییرات ضریب‌دبی در هر حالت مورد بحث و ارزیابی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

نمای شماتیک پژوهش حاضر طبق شکل (۱)، می‌باشد که در آن جریان با خروجی آزاد نشان داده شده است. در این پژوهش با بهره‌گیری از عمق آب بالادست، ضریب‌دبی از رابطه (۱) محاسبه شد (Negm et al. 2020; Heidari et al. 1998).



شکل ۱- نمای شماتیک از دریاچه مورد مطالعه و متغیرهای آن در پژوهش حاضر

Fig.1 Schematic view and variables of the present research

$$C_d = \frac{Q}{GB \sqrt{2gH}} \quad (1)$$

۲-۱- آنالیز ابعادی

ضریب‌دبی دریاچه‌کشویی با آستانه در حالت جریان آزاد به پارامترهای مؤثر در رابطه (۲) بستگی دارد (Salmasi and Norouzi 2020).

$$f_1(C_d, \rho, Q, g, \mu, H, G, Z, b) = 0 \quad (2)$$

که، C_d ضریب‌دبی جریان (بدون بعد)، B عرض کانال (L)، ρ جرم مخصوص آب (M/L^3)، Q دبی جریان (L^3/T^1)، g شتاب گرانش زمین (L/T^2)، μ ویسکوزیته دینامیکی آب (M/L^1T^1)، H عمق آب پشت دریاچه (L)، G میزان بازشدگی دریاچه (L)، Z ارتفاع آستانه (L) و b عرض آستانه

شده آستانه (H/P) و پارامتر ارتفاع آستانه بر بازشدگی دریاچه (Z/G) عنوان کردند. (Ghorbani et al. 2020) با استفاده از روش یادگیری ماشین H_2O ، تأثیر شکل آستانه بر ضریب‌دبی دریاچه‌کشویی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با ۱۲ آستانه مختلف و در چهار بازشدگی متفاوت ضریب‌دبی جریان را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که روش یادگیری ماشین H_2O ، عملکرد خوبی در تخمین ضریب‌دبی دریاچه‌کشویی دارد. (Salmasi et al. 2021) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به‌کارگیری مدل‌های هوش SVM^1 ، ANN^2 ، $GRNN^3$ ، RF^4 ، GP^5 و RT^6 ضریب‌دبی دریاچه‌های کشویی مایل را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش زاویه قرارگیری دریاچه، ضریب‌دبی افزایش می‌یابد. (Yoosefdoost and Lubitz 2022) به مطالعه آزمایشگاهی ضریب‌دبی دریاچه‌های کشویی پرداختند. ایشان در این تحقیق روابطی با دقت قابل قبول جهت تحلیل و مقایسه ضریب‌دبی دریاچه‌کشویی را برای مدل‌های مورد مطالعه ارائه دادند. (Daneshfaraz et al. 2022a) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل هندسی آستانه بر ضریب‌دبی جریان در شرایط آزاد پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین ضریب‌دبی به آستانه نیم‌استوانه‌ای مربوط می‌گردد. (Daneshfaraz et al. 2022b) به بررسی عددی و آزمایشگاهی تأثیر آستانه در موقعیت‌های مختلف قرارگیری نسبت به دریاچه‌کشویی پرداختند. نتایج نشان داد که با قرارگیری آستانه در حالت مماس بر بالادست دریاچه‌کشویی، بیشترین ضریب‌دبی حاصل می‌گردد.

بررسی مطالعات گذشته نشان داد که پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه دریاچه‌های کشویی از گذشته مورد توجه محققین بوده است و همواره روش‌هایی جهت توسعه عملکرد ضریب‌دبی دریاچه‌ها ارائه شده است. در سال‌های اخیر تأثیر آستانه با اشکال هندسی متفاوت مورد مطالعه پژوهشگران قرار گرفته است تا با انتخاب آستانه مناسب، بتوان دبی عبوری از دریاچه را افزایش داد. بررسی شکل و ابعاد آستانه از جمله مسائل تأثیرگذار بر ضریب‌دبی جریان می‌باشد. استفاده از آستانه موجب تغییر در سطح مقطع زیر دریاچه

¹Support Vector Machine

²Artificial Neural Networks

³Generalized Regression Neural Network

⁴Random Forest

⁵Gaussian Process

⁶Random Tree

۲-۲- روابط حاکم بر جریان

در پژوهش حاضر شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D ویرایش ۱۱ نسخه ۲ صورت گرفت. این نرم‌افزار یکی از مهم‌ترین نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد که به دلیل سرعت و دقت بالا مورد توجه محققین قرار گرفته است (Amini and Asadi Parto 2017). معادلات حاکم بر جریان، در این نرم‌افزار معادلات ناویراستوکس می‌باشد. نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی جریان، معادلات ناویر استوکس و پیوستگی را گسسته‌سازی نموده و معادلات دیفرانسیل را به معادلات جبری تبدیل می‌کند. روابط (۵ تا ۹)، بیان‌گر این معادلات می‌باشند. (Flow science Inc. 2016)

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0$$

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) = R_{SOR} + R_{DIF} \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \quad (7)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \quad (8)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \quad (9)$$

جرم، R_{DIF} عبارت پخش آشفتگی، V_F کسر حجمی سیال و P نمایانگر فشار می‌باشند. این معادله در حالت کلی به صورت رابطه (۱۰) بیان می‌گردد.

$$\rho \left(\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + B_i + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] \quad (10)$$

۲-۳- شبکه حل و شرایط مرزی

برای صحت‌سنجی از داده‌های به‌دست‌آمده از مدل آزمایشگاهی در شرایط حالت بدون آستانه استفاده شد. آزمایش‌های ایشان در فلومی به طول ۹/۴۵ m و عرض ۰/۳۰۵ m انجام گرفت. این فلوم شامل دو دریچه بوده که یکی از دریچه‌ها در ابتدا و دیگری در انتهای فلوم جهت کنترل پرش هیدرولیکی و سطح آب می‌باشد. ایشان در مجموع ۱۹۰ آزمایش بر روی ۱۲ آستانه با ارتفاع‌های مختلف انجام داده و تأثیر شکل و ارتفاع آستانه بر ضریب‌دبی جریان را بررسی نمود. مدل سه‌بعدی به‌کار رفته در این پژوهش، طبق

(L) می‌باشد. طبق قضیه پی-باکینگهام و با در نظر گرفتن (H, ρ, g) به‌عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد برای دریچه با آستانه به‌صورت رابطه (۳)، ارائه می‌شود. (Negm et al. 1998; Daneshfaraz et al. 2022c)

$$f_2 \left(\frac{1}{Fr}, C_d, \frac{1}{Re}, \frac{G}{H'}, \frac{Z}{H'}, \frac{b}{H} \right) = 0 \quad (3)$$

که، Re معرف عدد رینولدز جریان می‌باشد که در تحقیق حاضر با توجه به اینکه رینولدز بین ۴۵۷۰ تا ۹۳۴۵ و جریان آشفته است. لذا می‌توان از تأثیر این پارامتر صرف‌نظر کرد. (Daneshfaraz et al. 2021). همچنین Fr بیانگر عدد فرود زیر دریچه و برابر ضریب‌دبی جریان می‌باشد (Salmasi and Norouzi 2020). بنابراین رابطه (۳)، به‌صورت رابطه (۴)، بازنویسی می‌شود.

$$C_d = f_3 \left(\frac{H}{G}, \frac{Z}{H}, \frac{b}{H} \right) \quad (4)$$

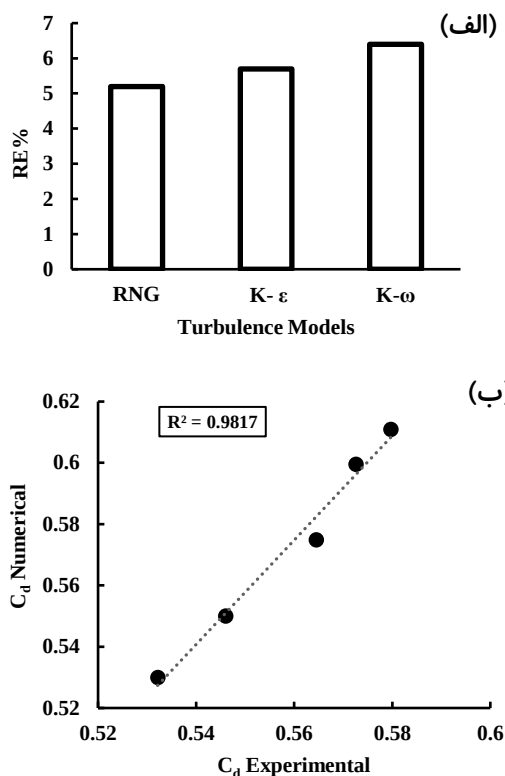
(۵)

که، (u, v, w) مؤلفه‌های سرعت، (A_x, A_y, A_z) کسری از مساحت مرتبط با جریان، (G_x, G_y, G_z) شتاب بدنه، (f_x, f_y, f_z) شتاب ناشی از لزجت در جهت‌های (x, y, z) ، R_{SOR} منبع

که، u_i, u_j و u_z به‌ترتیب مؤلفه بردار سرعت لحظه‌ای در جهت i, j و k می‌باشند. B_i نیروی حجمی در راستای i و μ لزجت دینامیکی سیال، ρ جرم مخصوص سیال، x_i, x_j و x_k به‌ترتیب معرف مشخصات جریان در راستای i, j و k ، δ_{ij} دلتای کرونکر^۱ که اگر در آن $i=j$ باشد، مقدار آن برابر یک و در غیر این‌صورت مقداری برابر صفر دارد (Daneshfaraz et al. 2021).

^۱Kronecker Delta

افزایش تعداد کل سلول‌ها می‌گردد در نتیجه زمان شبیه‌سازی افزایش می‌یابد. بنابراین، سلول با اندازه ۰/۰۶ cm به‌عنوان اندازه سلول بهینه که پس از آن تغییری در نتایج خروجی اتفاق نیفتد، انتخاب شد. به‌منظور انتخاب مدل آشفتگی، نتایج سه مدل RNG، $k-\omega$ و $k-\epsilon$ مقایسه گردید. مدل RNG، به‌دلیل پایین بودن مقادیر درصد RE و درصد AE، برای ادامه شبیه‌سازی‌ها انتخاب شد. شکل (۳-الف). مطابق شکل (۳-ب)، نتایج حاصل از حل عددی در پژوهش حاضر با نتایج آزمایشگاهی (Alhamid (1999)، مورد مقایسه قرار گرفت. مقدار شاخص آماری RMSE و ضریب تبیین (R^2) به‌ترتیب برابر ۰/۰۳ و ۰/۹۸ برآورد شد.

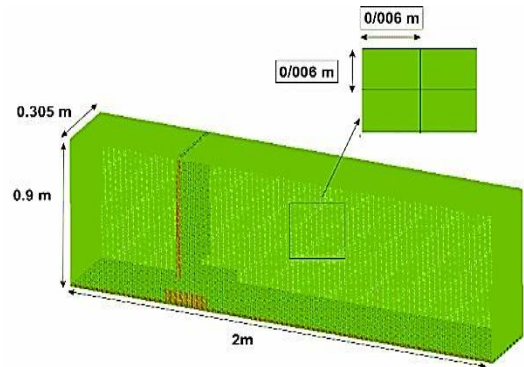


شکل ۳- نمودار مدل‌های آشفتگی و ضریب همبستگی داده‌ها: الف) نمودار درصد RE برای مدل‌های آشفتگی ب) مقایسه ضریب‌دبی حاصل از حل عددی و آزمایشگاهی

Fig. 3 Graphs of turbulence models and R^2 : a) RE percentage for turbulence models and b) comparisons of numerical and experimental solutions

پس از انتخاب تعداد سلول بهینه، ضریب‌دبی جریان در دبی‌های مختلف جهت کالیبراسیون مدل، با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه گردید. نتایج درصد RE ضریب‌دبی به

شکل (۲) می‌باشد. شبیه‌سازی با شرط ورودی دبی و برای انتهای کانال شرط مرزی خروجی و همچنین در دیواره‌ها و کف کانال شرط مرزی دیوار و در سطح فوقانی کانال از شرط مرزی تقارن استفاده گردید.



شکل ۲- شبکه بندی در پژوهش حاضر

Fig. 2 Meshing in this study

بر اساس روابط (۱۱) و (۱۲) از شاخص‌های آماری درصد خطای مطلق (AE) و درصد خطای نسبی (RE) در پژوهش حاضر استفاده شد. در روابط ذکر شده $C_{d(Exp)}$ و $C_{d(Num)}$ به‌ترتیب بیانگر ضریب‌دبی آزمایشگاهی و ضریب‌دبی عددی می‌باشد.

$$AE = |C_{d(Exp)} - C_{d(Num)}| \times 100 \quad (11)$$

$$RE = \left| \frac{C_{d(Exp)} - C_{d(Num)}}{C_{d(Exp)}} \right| \times 100 \quad (12)$$

جدول ۱- آنالیز حساسیت سلول

Table 1 Mesh Sensitivity Analysis

Row	Cell size (cm)	Total cells	$C_{d(exp)}$	$C_{d(num)}$	AE%	RE%
1	11	259896	0.533	0.595	6.24	11.7
2	0.09	467976	0.533	0.580	4.43	8.87
3	0.08	665000	0.533	0.569	3.36	6.82
4	0.06	1579419	0.533	0.552	1.85	3.47
5	0.05	2732800	0.533	0.549	1.60	3

مقادیر محاسبه شده طبق جدول (۱) بیان شده است. برای کاهش خطا، به‌تدریج اندازه سلول کاهش یافت. نتایج نشان داد که میزان خطا در اندازه سلول ۰/۰۶ cm قابل‌قبول می‌باشد. جهت اطمینان نتایج اندازه سلول ۰/۰۵ cm نیز بررسی گردید. در این حالت مقدار خطا نزدیک به حالت قبل محاسبه شد. با توجه به اینکه کاهش اندازه سلول سبب

¹Absolute Error

²Relative Error

آستانه، تأثیر بازشدگی‌های متفاوت بر ضریب‌دبی مورد مطالعه قرار گرفت. در حالت بعد با ثابت ماندن بازشدگی، آستانه در چهار ارتفاع مختلف در زیر دریچه تعبیه شد. در حالت سوم به بررسی ضریب‌دبی با تغییر عرض آستانه پرداخته شد. محدوده دبی از 0.01274 تا $0.01861 \text{ m}^3/\text{s}$ متغیر بوده است. مشخصات فیزیکی مدل‌ها طبق جدول (۳) می‌باشد. هر آزمایش شامل اندازه‌گیری عمق آب بالادست دریچه و محاسبه ضریب‌دبی جریان عبوری از دریچه با آستانه از طریق رابطه (۱)، می‌باشد.

شرح جدول (۲) می‌باشد. نتایج حاکی از این است که بین داده‌های عددی و آزمایشگاهی تطابق بالایی وجود دارد.

جدول ۲- کالیبراسیون مدل عددی

Table 2 Calibration of numerical model

Q (m^3/s)	$C_d(\text{exp})$	$C_d(\text{num})$	RE%
0.01274	0.533	0.549	3
0.01458	0.548	0.561	2.37
0.01501	0.541	0.565	4.47
0.01714	0.565	0.578	2.3
0.01861	0.570	0.584	2.45

در مجموع ۸۵ مدل در ۳ حالت برای شبیه‌سازی‌ها طراحی شد. بدین صورت که در حالت اول با ثابت نگه‌داشتن ارتفاع

جدول ۳- مشخصات فیزیکی پژوهش حاضر (اندازه‌ها بر حسب cm می‌باشند).

Table 3- Physical characteristics of the present study (Sizes are in cm)

Row	Gate opening	Sill height	Row	Sill height	Gate opening	Row	Sill height Gate opening	Sill width
A ₁		1	B ₁		2	C ₁		15.5
A ₂	5	2	B ₂	5	3	C ₂	5	20.5
A ₃		3	B ₃		4	C ₃		25.5
A ₄		4	B ₄		5	C ₄		30.5

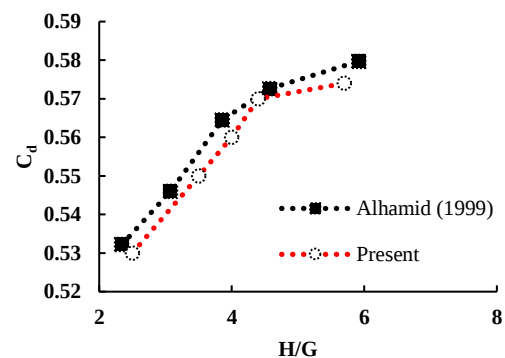
۳-۱- تأثیر بازشدگی دریچه بر ضریب‌دبی

به‌منظور مطالعه تأثیر بازشدگی دریچه در حالت بدون آستانه، ضریب‌دبی در چهار بازشدگی متفاوت شامل ۵ cm و ۴، ۳، ۲ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۵-الف). از جمله پارامترهای مؤثر بر ضریب‌دبی دریچه‌های کشویی، عمق آب بالادست دریچه می‌باشد. افزایش بازشدگی دریچه سبب کاهش عمق آب در بالادست دریچه می‌گردد و همین عامل سبب کاهش ضریب‌دبی در بازشدگی‌های بیش‌تر می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج می‌توان گفت، بیش‌ترین مقدار ضریب‌دبی مربوط به بازشدگی ۲ cm و کم‌ترین مقدار آن در بازشدگی ۵ cm دیده می‌شود. در حالت دوم، با در نظر گرفتن آستانه به ضخامت ۲۰ cm، عرض ۳۰/۵ cm و ارتفاع ۵ cm تأثیر بازشدگی دریچه بر جریان عبوری از دریچه‌کشویی با آستانه مورد مطالعه قرار گرفت. بازشدگی‌ها به ترتیب ۵ cm و ۴، ۳، ۲ در نظر گرفته شد و برای هر مدل دبی در محدوده 0.01274 تا $0.022 \text{ m}^3/\text{s}$ اعمال شد. شکل (۵-ب).

نتایج شکل (۵) نشان داد که کاهش بازشدگی سبب همگرایی جریان زیر دریچه می‌گردد و در نتیجه ضریب‌دبی با کاهش بازشدگی، افزایش می‌یابد. در شکل (۵-ب)، بیش‌ترین مقدار ضریب‌دبی به ازای کم‌ترین بازشدگی می‌باشد و در نهایت با افزایش بازشدگی از ۲ تا ۵ cm، به‌ترتیب ضریب‌دبی

۳-۲ یافته‌ها و بحث

در این پژوهش به تأثیر بازشدگی دریچه و همچنین ارتفاع و عرض آستانه بر ضریب‌دبی جریان تحت شرایط جریان آزاد پرداخته شد. به‌منظور بررسی ضریب‌دبی در بازشدگی‌های متفاوت دریچه، هر دو حالت بدون آستانه و با آستانه مورد مطالعه قرار گرفت. سپس ضریب‌دبی جریان با تغییر در ارتفاع و عرض‌های متفاوت آستانه مورد بررسی قرار گرفت. از داده‌های حالت بدون آستانه جهت مقایسه در پژوهش استفاده شد (شکل ۴). با توجه به نتایج می‌توان گفت، این نرم‌افزار دقت قابل قبولی در تخمین دبی عبوری از دریچه‌کشویی را دارد.

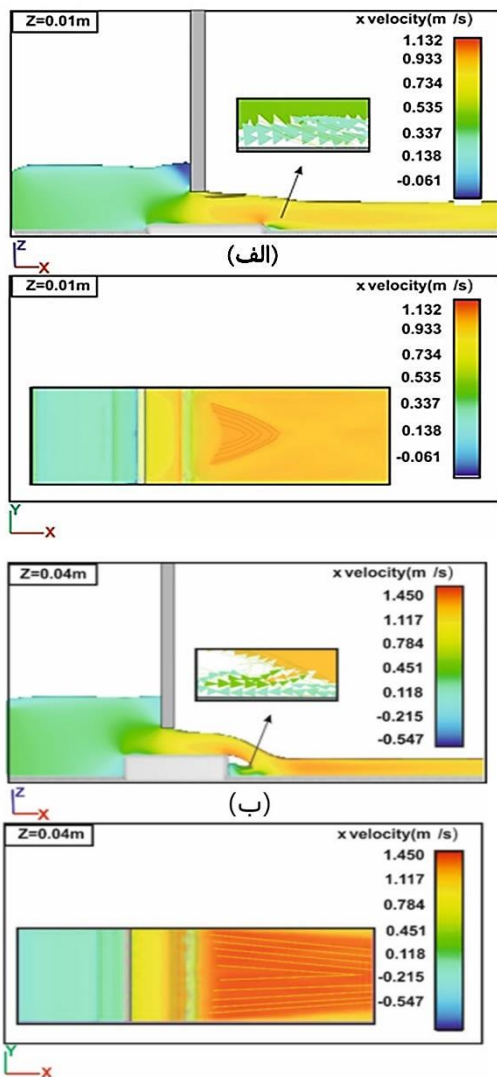


شکل ۴- مقایسه ضریب‌دبی در پژوهش حاضر با داده‌های

آزمایشگاهی (Alhamid (1999)

Fig. 4 Comparison of Alhamid (1999) data with the present data

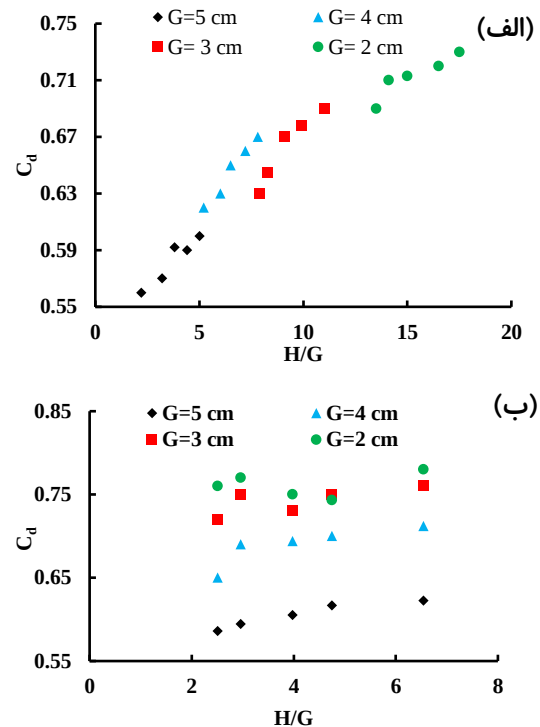
در ارتفاع بزرگتر آستانه می‌گردد. مقایسه سرعت در آستانه با ارتفاع ۴ و ۱ cm نیز صحت این موضوع را تأیید می‌کند. با توجه به شکل فوق می‌توان گفت ایجاد آستانه در ابتدا سبب کاهش سرعت در پایین‌دست و جلوی آستانه و در نزدیکی کف می‌گردد. این کاهش سرعت چنانچه در شکل (۷-ب)، نیز مشاهده می‌شود در آستانه با ارتفاع بزرگتر به‌وضوح اتفاق می‌افتد. دلیل هیدرولیکی این امر، ایجاد جریان‌های چرخشی در پایین‌دست آستانه می‌باشد که با افزایش ارتفاع آستانه از ۱ به ۲ cm جریان‌های گردابه تشکیل شده نیز افزایش می‌یابد. به‌تدریج و با دور شدن از محل آستانه، سرعت جریان با افزایش قابل توجهی به مقدار ثابت خود می‌رسد. شکل (۷) روند تغییرات سرعت طولی را به‌ترتیب در بالادست و پایین‌دست آستانه نشان می‌دهد.



شکل ۶- سرعت جریان با وجود آستانه: الف) آستانه ۱ cm و ب) آستانه ۴ cm

Fig. 6 Flow velocity with sill: a) Z=1 cm, and b) Z=4 cm

کاهش می‌یابد. در بیشترین بازشدگی ($G = 5$ cm)، ضریب‌دبی با آستانه ۱/۳۵٪ و در کم‌ترین میزان بازشدگی ($G = 2$ cm)، ۹٪ نسبت به حالت بدون آستانه افزایش می‌یابد. بر اساس آنالیز ابعادی انجام گرفته، عمق آب پشت دریچه از جمله پارامترهای مؤثر بر ضریب‌دبی می‌باشد. از آنجائیکه با کاهش بازشدگی، عمق آب پشت دریچه افزایش می‌یابد، بنابراین ضریب‌دبی نیز افزایش خواهد یافت و با افزایش بازشدگی، ضریب‌دبی روند نزولی خواهد داشت.



شکل ۵- نمودار تغییرات ضریب‌دبی در بازشدگی‌های متفاوت :

الف) بدون آستانه، و ب) با آستانه

Fig. 5 Discharge coefficient changes in different gate openings: a) without sill, and b) with sill

۳-۲- تأثیر ارتفاع آستانه بر سرعت جریان

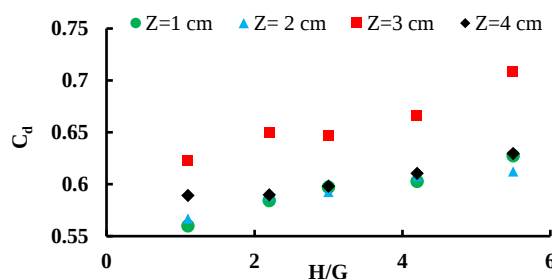
حضور آستانه، سرعت جریان و خطوط جریان را در بالادست و پایین‌دست دریچه تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدین منظور آستانه با ارتفاع ۴ و ۱ cm در بازشدگی ثابت (۵ cm) مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۶)، تغییرات سرعت و خطوط جریان با آستانه را در دبی $0.12 \text{ m}^3/\text{s}$ را نشان می‌دهد.

شکل (۶)، بررسی سرعت جریان در بالادست آستانه در بازشدگی ثابت ۵ cm را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج افزایش ارتفاع آستانه سبب کاهش سرعت در این مقطع می‌گردد. به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع، آستانه مانع از مقابل جریان قرار می‌گیرد و همین امر سبب کاهش سرعت

مقطع با سرعت منفی به وجود می آید. علت این امر نیز حضور جریان های چرخشی است که سبب کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار سرعت می گردد. ولی به تدریج و با دور شدن از محل آستانه ابتدا سرعت جریان افزایش یافته و سپس به حالت ثابت می رسد.

۳-۳- تأثیر ارتفاع آستانه بر ضریب دبی

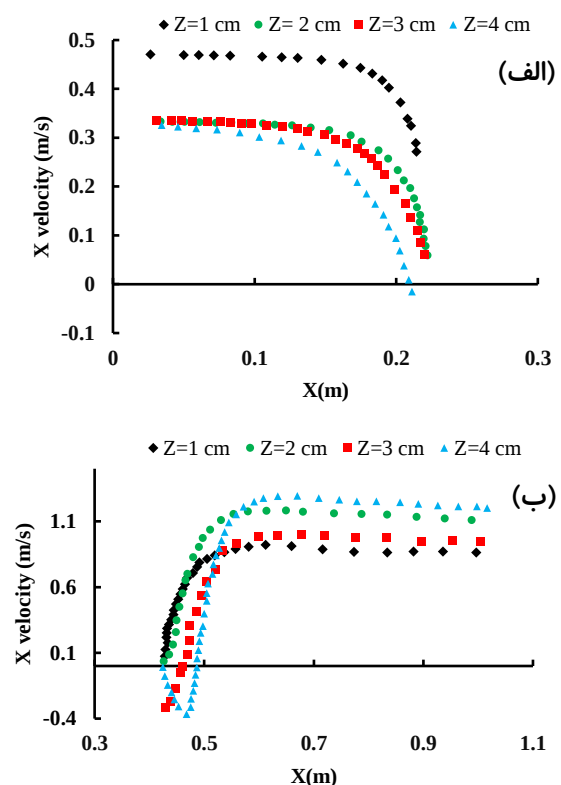
به منظور بررسی ضریب دبی در ۴ مدل آستانه، نمودار شکل (۸)، ترسیم شد که در آن محور افقی نسبت بی بعد عمق آب بالادست بر بازشدگی دریچه می باشد و محور عمودی معرف ضریب دبی جریان است. در این حالت بازشدگی دریچه ثابت و برابر ۵ cm در نظر گرفته شد. نتایج نشان می دهد که حضور آستانه در همه حالت ها، ضریب دبی دریچه را افزایش می دهد. تاجائیکه آستانه با کم ترین ارتفاع نیز سبب افزایش ضریب دبی نسبت به حالت بدون آستانه شده است. با مقایسه داده ها می توان گفت حداقل و حداکثر افزایش ضریب دبی در حالت با آستانه به ترتیب مربوط به آستانه با ارتفاع ۱ و ۳ cm می باشد. به طوری که ضریب دبی دریچه با آستانه ۱ cm حداقل ۱/۵٪ و با آستانه ۳ cm حداکثر ۱۸٪ نسبت به حالت بدون آستانه افزایش داشته است. بررسی تغییرات ضریب دبی با افزایش ارتفاع آستانه نشان داد که ضریب دبی تا یک حد مشخص با ارتفاع آستانه رابطه مستقیم دارد. به طوری که با افزایش ارتفاع آستانه، ضریب دبی نیز افزایش می یابد. اما از یک ارتفاع به بعد که در این تحقیق آستانه با ارتفاع ۳ cm می باشد، افزایش ارتفاع آستانه سبب کاهش در مقدار ضریب دبی می گردد. با توجه به نتایج می توان اظهار داشت که با افزایش مقدار H/G ، ضریب دبی نیز افزایش می یابد. بنابراین حضور آستانه سبب توزیع یکنواخت تر جریان زیر دریچه می گردد و همین علت سبب افزایش ضریب دبی در مقایسه با حالت بدون آستانه می باشد.



شکل ۸- بررسی تغییرات ضریب دبی دریچه کشویی در آستانه با ارتفاع های مختلف

Fig. 8 Comparison of sluice gate discharge coefficient with different sill height

این کاهش سرعت چنانچه در شکل (۷-ب)، نیز مشاهده می شود در آستانه با ارتفاع بزرگتر به وضوح اتفاق می افتد. دلیل هیدرولیکی این امر، ایجاد جریان های چرخشی در پایین دست آستانه می باشد که با افزایش ارتفاع آستانه از ۱ به ۲ cm جریان های گردابه تشکیل شده نیز افزایش می یابد. به تدریج و با دور شدن از محل آستانه، سرعت جریان با افزایش قابل توجهی به مقدار ثابت خود می رسد. شکل (۷)، روند تغییرات سرعت طولی را به ترتیب در بالادست و پایین دست آستانه نشان می دهد.

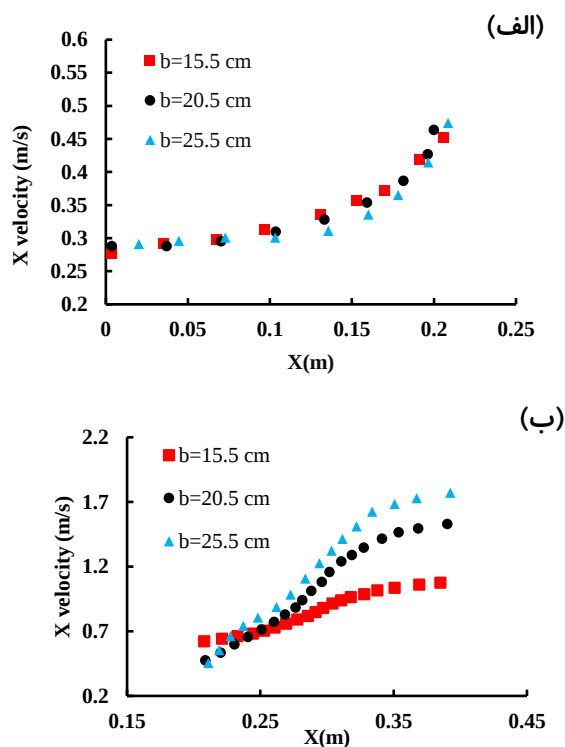


شکل ۷- تغییرات سرعت طولی جریان با آستانه: الف) در بالادست آستانه، و ب) در پایین دست آستانه

Fig. 7 Longitudinal velocity changes in upstream and downstream of sill: a) In upstream of sill, and b) In downstream of sill

با بررسی سرعت طولی در حالت با آستانه می توان گفت، در مقطع بالادست، سرعت جریان با نزدیک شدن به محل قرارگیری آستانه، کاهش می یابد. با توجه به شکل (۷)، بیشترین کاهش سرعت مربوط به آستانه با بیشترین ارتفاع می باشد. بررسی سرعت در پایین دست آستانه، نشان داد که در جلوی آستانه یک

حداقل فشار در آستانه با عرض ۱۵/۵ cm می‌باشد. ارزیابی نتایج در اطراف آستانه، حاکی از این است که کاهش عرض آستانه، با واگرا کردن خطوط جریان، سبب کاهش در سرعت جریان می‌شود. به‌طوری‌که حداقل سرعت مربوط به آستانه با کم‌ترین عرض می‌باشد بررسی سرعت نشان داد که حضور آستانه در عرض‌های مختلف، سبب ایجاد تغییرات ناچیزی در سرعت جریان بالادست دریچه می‌گردد (شکل ۱۰). با نزدیک شدن به محل قرارگیری آستانه، کاهش عرض آستانه نسبت به عرض کل دریچه، سبب افزایش در مقدار سرعت می‌گردد.



شکل ۱۰- نمودارهای سرعت، الف) سرعت طولی در بالادست، و ب) سرعت طولی در اطراف آستانه

Fig. 10 Velocity chart a) Longitudinal velocity in upstream, and b) Longitudinal velocity beside sill

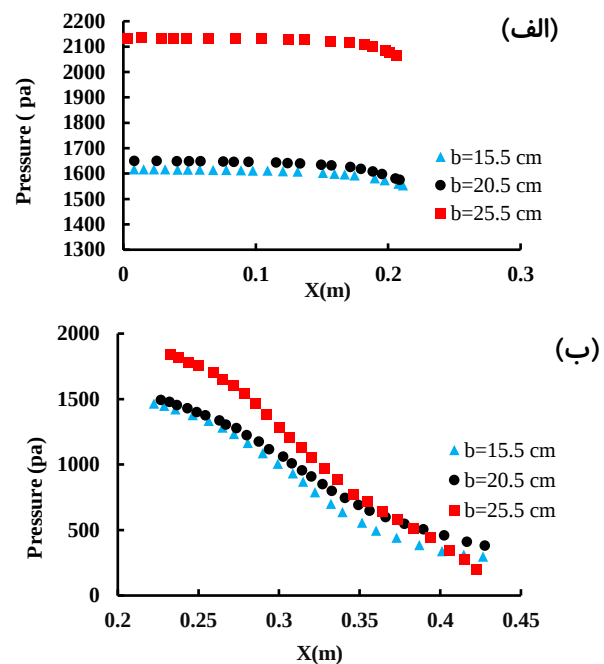
۵-۳- تأثیر عرض آستانه بر ضریب‌دبی جریان

تغییرات ضریب‌دبی جریان با تغییر عرض آستانه در شکل (۱۱)، نشان داده شده است که در آن محور افقی بیان‌گر نسبت بی‌بعد b/h و محور قائم بیان‌گر ضریب‌دبی جریان می‌باشد.

با بررسی فشار و سرعت در عرض‌های مختلف آستانه، روشن شد که پارامتر عرض آستانه از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مشخصات جریان می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با کاهش عرض آستانه، ضریب‌دبی کاهش می‌یابد. نتایج حاکی از این

۴-۳- تأثیر عرض آستانه بر فشار و توزیع سرعت طولی جریان

در این حالت برای روشن شدن تأثیر عرض آستانه بر ضریب‌دبی جریان، با ثابت نگه داشتن ارتفاع آستانه و بازشدگی دریچه، آستانه‌هایی با عرض متفاوت در زیر دریچه تعبیه گردید. مقادیر عرض آستانه‌ها از ۳۰/۵ تا ۱۵/۵ cm متغیر می‌باشد. به‌طوری‌که بیش‌ترین عرض آستانه برابر عرض فلوم در نظر گرفته شد و سپس کاهش یافت. قبل از بررسی ضریب‌دبی، ابتدا سرعت و فشار به‌ترتیب در مقطع بالادست و اطراف آستانه و در راستای طولی مورد ارزیابی قرار گرفت. شکل (۹).



شکل ۹- تغییرات فشار: الف) فشار در بالادست دریچه، و ب) فشار در اطراف آستانه

Fig. 9 Pressure changes: a) Pressure in upstream and b) Pressure beside sill

در شکل (۹)، محور افقی بیانگر مقطع طولی و محور قائم نشانگر فشار جریان می‌باشد. چنانچه از شکل (۹-الف)، مشاهده می‌شود کاهش عرض آستانه، سبب کاهش قابل توجهی در مقدار فشار در بالادست دریچه قائم می‌شود. به طوری‌که با کاهش عرض از ۲۵/۵ به ۱۵/۵ cm مقدار فشار ۲۶٪ کاهش می‌یابد. با توجه به شکل (۹-ب)، روشن می‌شود که در هر عرض به‌تدریج با دور شدن از ابتدای آستانه از مقدار فشار کاسته می‌شود. این کاهش فشار بدین صورت است که حداکثر فشار مربوط به آستانه با عرض ۲۵/۵ cm و

شد. مهم‌ترین نتایج پژوهش حاضر به شرح زیر قابل بیان است:

۱- ضریب‌دبی جریان در حالت بدون آستانه با کاهش بازشدگی، افزایش می‌یابد. با قرار دادن آستانه در زیر دریچه‌کشویی در بازشدگی‌های مختلف ضریب‌دبی درحالت با آستانه بیشتر از بدون آستانه برآورد شد.

۲- حضور آستانه حتی با حداقل ارتفاع بر عملکرد دریچه-کشویی تأثیر می‌گذارد، به این معنی که سبب افزایش ضریب‌دبی می‌گردد. حداقل و حداکثر افزایش ضریب‌دبی در این حالت برابر $1/5$ و $1/8$ نسبت به حالت بدون آستانه محاسبه شد.

۳- با کاهش عرض آستانه، فشار و به تبع آن سرعت جریان تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌طوری‌که با کاهش عرض آستانه، سرعت جریان در کناره‌های آستانه و در مجاورت دیواره فلوام کاهش می‌یابد. همین امر سبب می‌شود تا ضریب‌دبی جریان تحت تأثیر قرار بگیرد. ارزیابی تغییرات آستانه در عرض‌های مختلف بیانگر این موضوع است که قرار دادن آستانه با عرض بیشتر، سبب افزایش ضریب‌دبی نسبت به آستانه با عرض کمتر می‌شود.

۴- بررسی ضریب‌دبی آستانه هم‌عرض فلوام نشان داد که ضریب‌دبی نسبت به حالت بدون آستانه 20% افزایش داشته است.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از تمامی کسانی که در نگارش مقاله کمک کرده‌اند تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آورند.

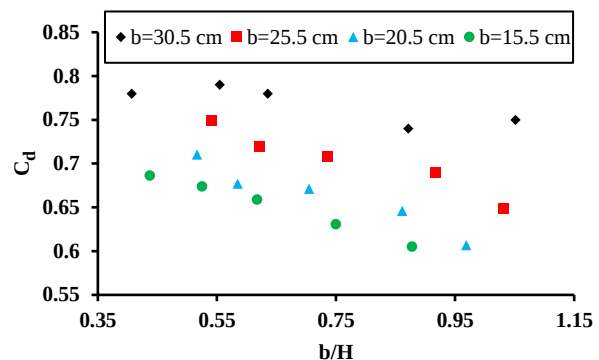
دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

است که در یک دبی ثابت، افزایش عرض آستانه از $15/5$ به $30/5$ cm سبب افزایش 15% میزان ضریب‌دبی می‌شود. این در حالی است که مقایسه ضریب‌دبی در آستانه هم‌عرض فلوام نسبت به حالت بدون آستانه 20% افزایش داشته است. بررسی ضریب‌دبی در آستانه با کم‌ترین عرض نشان داد که این آستانه دارای حداقل مقدار ضریب‌دبی در بین آستانه‌ها می‌باشد. علت هیدرولیکی این موضوع چنین بیان گردید که آستانه با عرض بزرگ‌تر، سبب کاهش مساحت مقطع عبوری جریان شده و در نتیجه باعث افزایش ضریب‌دبی می‌گردد.



شکل ۱۱- بررسی تغییرات ضریب‌دبی در عرض‌های متفاوت آستانه

Fig. 11 Discharge coefficient changes in different sill widths

در پژوهش حاضر، تأثیر کاربرد آستانه در زیر دریچه‌کشویی بر ضریب‌دبی مورد ارزیابی قرار گرفت. با بررسی ضریب‌دبی در حالت شاهد و با آستانه مشخص شد که جای‌گذاری آستانه، ضریب‌دبی را افزایش می‌دهد. نتایج مطالعه آزمایشگاهی (Alhamid 1999) نیز صحت این موضوع را تأیید می‌کند. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع آستانه، ضریب‌دبی جریان افزایش می‌یابد. که با نتایج حاصل از تحقیق (Karami et al. 2020) مطابقت دارد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعه آزمایشگاهی Salmasi and Norouzi (2020) نشان داد که با تغییر در ابعاد آستانه از جمله ارتفاع و عرض آن، ضریب‌دبی دریچه‌کشویی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. به‌صورتی‌که با افزایش در ارتفاع و عرض آستانه، بازشدگی دریچه‌کشویی کاهش و ضریب‌دبی افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر به بررسی ضریب‌دبی در ۳ حالت شامل تغییر در بازشدگی دریچه، ارتفاع و عرض آستانه پرداخته

References

- Alhamid, A. A. (1999). Coefficient of discharge for free flow sluice gates. *J. King Saud. Univ. Eng. Sci.*, 11(1), 33-47. DOI: 10.1016/S1018-3639(18)30989-9.
- Amini, A. and Parto, A. A. (2017). 3D Numerical simulation of flow field around twin piles. *J. Acta Geophys.*, 65, 1243-1251. DOI: 10.1007/s11600-017-0094-x.
- Akoz, M., Kirkgoz, M. and Oner A. (2009). Experimental and Numerical Modeling of a Sluice Gate Flow. *J. Hydraul. Res.*, 47(2): 167-176. DOI: 10.3826/jhr.2009.3349.
- Aydin, M. and Emre, A. (2017). Numerical modelling of sluice gates with different sill types under submerged flow conditions. *J. Sci. Technol.*, 7(1), 1-6. DOI: 10.17678/beuscitech.310157.
- Daneshfaraz, R., Ghahramanzadeh, A. and Ghaderi, A. (2016). Investigation of the Effect of Edge Shape on Characteristics of Flow Under Vertical Gates. *J. Am. Water Works Assoc.*, 108(8), E425- E432. DOI: 10.5942/jawwa.2016.108.0102
- 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 Condition. *J. Hydraulic structures.*, 7(3), 72-87, DOI: 10.22055/JHS.2022.39208.1196.
- Daneshfaraz, R., Norouzi, R. and Ebadzadeh, P. (2022a). Experimental Investigation of non-suppressed sill effect with different geometry on flow pattern and discharge coefficient of sluice. *J. Hydraulics*, 17(3), DOI: 10.30482/jhyd.2022.316603.1566
- Daneshfaraz, R., Norouzi, R., Abbaszadeh, H., Kuriqi, A. and Francesco., S. D. (2022b). Influence of Sill on the Hydraulic Regime in Sluice Gates: An Experimental and Numerical Analysis. *J. Fluids.* (7) 7, 244. DOI.org/10.3390/fluids7070244.
- Daneshfaraz, R., Norouzi, R. and Ebadzadeh, P. (2022c). Experimental and numerical study of sluice gate flow pattern with non-suppressed sill and its effect on discharge coefficient in free-flow conditions. *J. Hydraulic Structures.*, 8(1), 1-20. DOI: 10.22055/jhs.2022.40089.1201.
- Flow Science Inc. (2016). FLOW-3D V 11.2 User's Manual, Santa Fe, NM, USA.
- Ghorbani, M. A., Salmasi, F., Saggi, M. K. and Norouzi, R. (2020). Deep learning under H2O framework: A novel approach for quantitative analysis of discharge coefficient in sluice gates. *J. Hydroinform.*, 22(6), 1603-1619. DOI:10.2166/hydro.2020.003.
- Heidari, M., Karami, S. and Adibrad, M. (2020). Investigation of free flow under the radial gate with the sill. *J. Civil Environ. Eng.*, 50.3(100), 9-19. DOI: 10.22034/jcee.2020.23384.1568
- Ilkhanipour Zeinali, R., Mousavi Jahromi, H., Kashefipour Dezfouli, M. and Fathi Mogaddam, M. (2015). Influence of gate plate slope on hydraulic characteristics of sluice gates. *J. water Soil Resour. Conserv.*, 4(4), 1-10 [In Persian]. DOI: https://dorl.net/dor/20.1001.1.22517480.1394.4.4.1.0.
- 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.
- Khalili Shayan, H., Farhodi, J. and Roshan, R. (2014). Estimation of flow discharge under the sluice and radial gates based on contraction coefficient. *J. Sci. Technol. Trans. Civ. Eng.*, 38(C2), 449-463. DOI: 10.22099/ijstc.2014.2421.
- Lin, C. H., Yen, J. F. and Tsai C. T. (2002). Influence of sluice gate contraction coefficient on distinguishing condition. *J. Irrig. Drain. Eng.*, 128(4), 249-252. DOI:



- 10.1061/(ASCE)0733-9437(2002)128:4(249).
- Mohammed, A. and Moayed, K. (2013). Gate Lip Hydraulics under Sluice gate. J. Modern Instrumentation. 2(1), 16-19. Doi: 10.4236/mi.2013.21003.
- Negm, A. M., Alhamid, A. A. and El-Saiad, A. A. (1988). Submerged flow below sluice gate with sill. In Proceedings of the International Conference on Hydro-Science and Engineering Hydro-Science and Engineering ICHE98, Cottbus/Berlin, Germany, 31 August–3 September, University of Mississippi: Oxford, MS, USA, Advances in Hydro-Science and Engineering; Volume 3.
- Rady, R. A. E. H. (2016). Modeling of flow characteristics beneath vertical and inclined sluice gates using artificial neural networks. J. Ain Shams Eng. J., 7(2), 971-924. DOI: 10.1016/j.asej.2016.01.009.
- Salmasi, F. and Norouzi, R. (2020). Investigation of different geometric shapes of sills on the discharge coefficient of a vertical sluice gate. J. Amirkabir Civil Eng., 5(2), 1-3 [In Persian] DOI: 10.22060/ceej.2018.14232.5596.
- 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. J. Water Suppl., 21(1), 232-248. DOI: 10.2166/ws.2020.226.
- Salmasi, F. and Abraham J. P. (2021). Prediction of discharge coefficients for sluice gates equipped with different geometric sills under the gate using multiple non-linear regression (MNLR). J. Hydrol., 597, 125728. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125728.
- Shivapur, V.A. and Prakash Shesha, N.M. (2005). Inclined sluice gate for flow measurement. J. Hydraulic Engineering., 11(1), 46-56. DOI: 10.1080/09715010.2005.10514768.
- Yoosefdoost, A. and Lubitz, W. D. (2022). Sluice gate design and calibration simplified models to distinguish flow conditions and estimate discharge coefficient and flow rate. J. Water, 14(8), 1215. DOI: 10.3390/w14081215.

How to cite this paper:

Daneshfaraz, R., Norouzi, R., Ebadzadeh, P. and Abbaszadeh, H. R. (2022) Numerical investigation on effective parameters on hydraulic flows in a sluice gate with sill on free-flow condition. Environ. Water Eng., 8(3), 711–725. DOI: 10.22034/JEWE.2022.321259.1700