

Investigation of different geometric shapes of sills on the discharge coefficient of a vertical sluice gate

F. Salmasi*, R. Nourozi

Department of Water Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

ABSTRACT: Gates in dams and irrigation canals are used for control of discharge or water surface regulation. To determine the discharge under a gate, a discharge coefficient (C_d) should be determined. This study investigates the effect of sill shape under the vertical sluice gate on C_d . Both of sill shape and sill height were investigated. The investigated shapes comprise polyhedral and non-polyhedral sills. The results showed that circular sill was the most effective and triangular sill was also the proper shape of polyhedral in increasing C_d . Circular sill increases C_d at least 23% up to a maximum of 31%. In addition to shape, sill height was also important in the determination of C_d . Using dimensionless parameters and regression analysis, an equation for prediction of C_d in free flow condition with and without sill was presented. The developed equation coincides with the published previous researches.

Review History:

Received: 3/18/2018

Revised: 5/17/2018

Accepted: 5/28/2018

Available Online: 6/11/2018

Keywords:

Sluice gate

Discharge coefficient

Sill

Free flow

1. INTRODUCTION

Flood controlled structures are used to control of discharge or water surface regulation in irrigation canals, rivers and the water released from the dams. These structures have different types that gates are one of the most important ones [1]. Flow-through gates are divided into two types: (i) free surface flow and (ii) submerged outflow. Discharge equation for each of two categories is different. Gates are extensively used in irrigation canals, at the top of the spillway of dams and at the exit of water from the lake to the river. The most important and usable underpass gates are sluice and radial gates. Estimation of the flow discharge under gates is an essential problem in many water engineering projects. The accurate estimation of the flow discharge test requires a suitable discharge coefficient selection.

By applying energy equation, discharge coefficient (C_d) appears in Eq. (1):

$$q = C_d \cdot G \sqrt{2g(H - Z)} \quad (1)$$

where H is upstream water depth, Z is sill height, G is gate opening, q is discharging per unit width of canal and g is acceleration due to gravity.

Characteristics of the flow under the gates have been largely studied theoretical and experimental by many researchers, including Henry [2], Henderson [3], Rajratnam and Subramanya [4], Rajratnam [5], Swamee [6] and Ohatsu and Yasuda [7]. Figure 1 shows a longitudinal cross-section of a vertical sluice gate with a circular sill in free flow condition.

*Corresponding author's email: Salmasi@Tabrizu.ac.ir

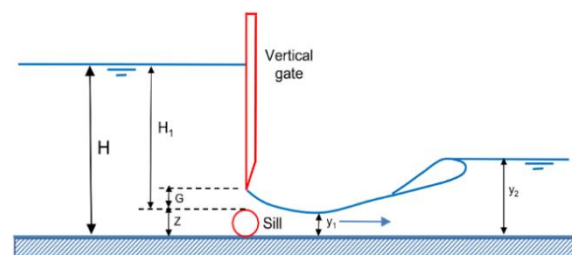


Fig. 1. Sluice gate with free flow condition

Golmohammadi and Beyrami [8] carried out the energy equation and the concept of increasing the pressure head created by water surface profile, to obtain equations for the estimation of the contraction coefficient (C_c) and discharge for free flow under sluice and radial gates. Based on the proposed equations, with a depth of water in the upstream of the gate and the opening of the gate, it is possible to easily and accurately calculate the contraction coefficient (C_c) and discharge for free flow under sluice gates. Khalili Shayan et al. [9] examined the characteristics of free and submerged flow from the sluice and radial gates by using energy and momentum equations, and experimental data of other researchers.

The present study tends to investigate the effect of height and shape of the sills on the coefficient of discharge (C_d) in vertical slid gates under free flow condition. The experiments were performed in a horizontal rectangular flume with 9.4 m length. Also, the regression equation for estimating the coefficient of discharge for both sill and non-sill gates was

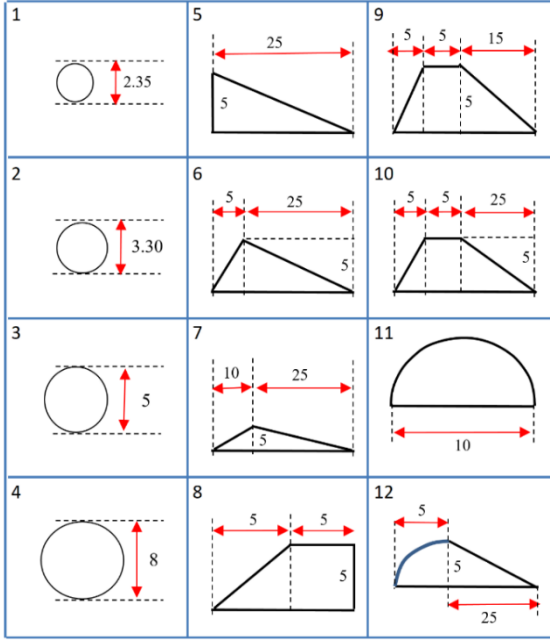


Fig. 2. Different geometric tested sills (all units are centimeters)

presented and its performance was compared with the data of other researchers.

2. METHODOLOGY

In the present study, experiments were performed in a flume with Plexiglas walls. The flume was 9.4 m long and 30.5 m wide. The depth of the flume was 110 cm for 2.7 m at the beginning and the depth was 53 cm for the rest of the flume. The flume was equipped with two control gates, one relating to the vertical gate on the section studied and the other at the end of the flume. The flow was equipped with a pump with a maximum capacity of 50 liters per second and flow was measured by a calibrated triangular weir at downstream. Flow depths were measured with point gauge with a measurement precision of ± 0.1 mm. In addition to non-sill cases, twelve different sills were studied in this study. These sill cross-sections have five different shapes: triangular, trapezoidal, circular, semicircular and rounded faces with a triangular downhill (Figure 2). Nine of these sills were 5 cm high and circle sills were 2.35 cm, 3.3 cm and 8 cm in height. Different flow discharges were considered between 12 to 26 liters per second and 4 gate openings. Therefore, 180 runs were tested.

The dimensionless analysis shows that C_d is a function of the following parameters:

$$F_1(\rho, Q, b, g, \mu, H, Z, G, \phi) = 0 \quad (2)$$

where ϕ is sill shape factor and can be related to sill wetted perimeter (p) and sill hydraulic radius (R_s) as Eq. (3):

$$\phi = F_2(R_s, p) \quad (3)$$

With some simplification and neglecting Reynolds number, Eq. (4) is obtained:

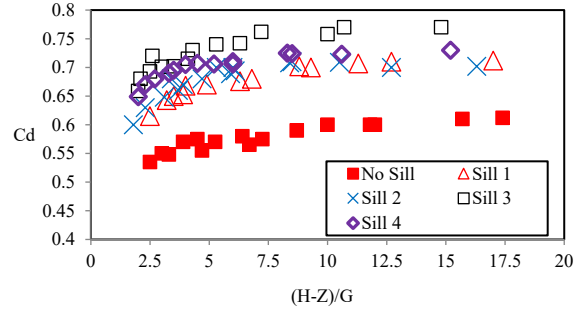


Fig. 3. Comparison of discharge coefficient for sluice gate with circular sills and without sill

$$C_d = F_4\left(\frac{H_1}{p}, \frac{Z}{G}, \frac{R_s}{G}, \frac{R_s}{H_1}\right) \quad (4)$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

As previously mentioned, four circular sills with diameters of 2.35, 3.3, 5 and 8 cm were tested. Figure 3 shows that the sill height is important for calculating C_d . The gate with a sill had a coefficient of discharge greater than the gate without sill. Also, when the sill height rises, C_d increased to a certain amount, then C_d was reduced. The threshold criteria were with a height of 5 cm for circular sill that provides the highest discharge coefficient.

Figure 3 shows that with decreasing gate opening (G), the discharge coefficient (C_d) was increased. By reducing the opening of the gate, the flow-through gate was converged, and with the increase of the velocity of the current, the hydrostatic pressure was reduced. So the pressure reaches less than $\gamma_w H_1$, where γ_w is the specific gravity of the water. Reduction in water pressure and water suction increases C_d . Rajaratnam and Humphries's [10] studies showed that pressure decline due to gate installation was created 5 times the opening of the gate ($5G$) in upstream of the gate.

In Figure 4, the discharge coefficient of the gate with a circular sill having 5 cm in diameter (sill 3) is compared with non-sill type. Circle sill has increased discharge coefficient at least 23% and a maximum of 31%. Also, in Figure 4, two equations with determination coefficients (R^2) equal to 0.87 and 0.91 have been fitted for gate with sill and gate without sill respectively.

For polyhedral sill (sill No. 12), the downstream slope and the shape of the crest are the main parameters of the shape. While this is not the case for non-polyhedral forms. Therefore, a form factor is required which in this study wetted perimeter (p) and hydraulic radius ($R_s = \frac{A}{p}$) were chosen (A is the sill cross-section area). Using nonlinear regression analysis, Eq. (5) was obtained:

$$C_d = 0.63 \left(\frac{H_1 - G}{H_1 + 15G} \right)^{0.0649} \frac{\left(1 + \frac{Z}{G}\right)^{0.3618} \left(1 + \frac{H_1}{P}\right)^{0.0434}}{\left(1 + \frac{R_s}{G}\right)^{0.5169} \left(1 - \frac{R_s}{H_1}\right)^{0.3887}} \quad (5)$$

Eq. (5) can be used for both gates with sill and gate

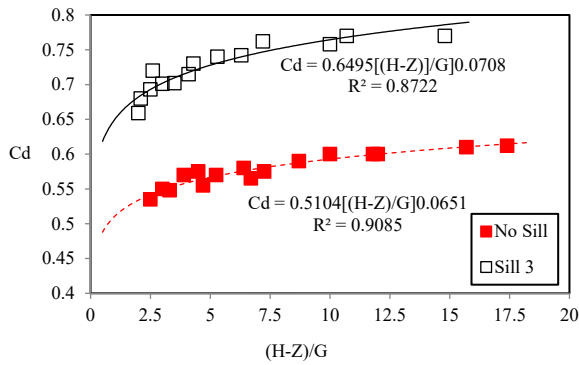


Fig. 4. Discharge coefficient for vertical slide gate in two types (with circular sill under the gate and without sill)

without sill in free flow condition. Based on Eq. (5), C_d can be predicted with a maximum error less than 6%. For gate without a sill, Z will be zero, P will be infinite, and H_1 is equal to H .

4. CONCLUSION

In the present study, 12 sills with different geometric sections were tested under the vertical slide gate. These sections have consisted of circular, semicircular, triangular, trapezoidal and rounded faces with triangular in the tail. Graphs and correlation equations were obtained based on 180 laboratory data. The results showed that the presence of the sill under the vertical gate had a positive effect on the flow characteristics. This means that it increases the coefficient of discharge. The shape and height of the sill were an important factor in increasing the discharge coefficient. For the tested forms, it is concluded that the circle sill is most effective in comparison with all other forms and the triangular sill is most effective compared to the polyhedral sill shapes. An equation

for calculating the coefficient of discharge was obtained. The equation includes flow parameters, gate openings and sill shape parameters. This equation predicted discharge coefficient with acceptable accuracy and for common sill can be used within the range in which the equation is developed.

REFERENCES

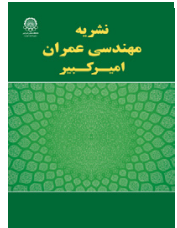
- [1] A.A. Alhamid, Coefficient of discharge for free flow sluice gates, J King Saud Univ, 11, (1999) 33-48.
- [2] H. Henry, Discussion of diffusion of submerged jets, Trans. Proc. ASCE. 115 (1950), 687-697.
- [3] F.M. Henderson, Open channel flow, New York, Macmillan Publishing Co. Inc, 1966.
- [4] N. Rajratnam, K. Subramanya, K., Flow equation for the sluice gate, Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 93 (4), (1967), 167-186.
- [5] N. Rajratnam, Free flow immediately below sluice gates, Journal of Hydraulics Division, ASCE, 103 (4), (1997), 354-351.
- [6] P.K. Swamee, Sluice gate discharge equation, Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, 118 (1), (1992) 57-60.
- [7] J. Ohatsu, Y. Yasuda, Characteristics of supercritical flow below sluice gate, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 120 (3), (1994) 332-346.
- [8] M.H. Golmohammadi, M.K. Beyrami, Estimation of discharge for free flow under sluice and radial gates, Water and sewage, 2 (2011) 94-101 (In Persian).
- [9] H. Khalili Shayan, J. Farhoudi, R. Roshan, Estimation of discharge coefficient of flow from sluice and radial gates, Iranian Water Researches Journal, 9, (1.16), (2015) 153-167 (In Persian).
- [10] N. Rajaratnam, J.A. Humphries, Free flow upstream of vertical sluice gates, Journal of Hydraulic Research, 20 (5), (1982) 427-437.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

F. Salmasi, R. Nourozi Sarkarabad, Investigation of different geometric shapes of sills on the discharge coefficient of a vertical sluice gate, Amirkabir J. Civil Eng., 52(1) (2020) 7-10.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14232.5596](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14232.5596)





بررسی تأثیر شکل های مختلف هندسی آستانه بر ضریب دبی جریان دریاچه کشویی عمودی

فرزین سلماسی*، رضا نوروزی

گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۶-۱۲-۲۷

بازنگری: ۱۳۹۷-۰۲-۲۷

پذیرش: ۱۳۹۷-۰۳-۰۷

ارائه آنلاین: ۱۳۹۷-۰۳-۲۱

کلمات کلیدی:

دریاچه کشویی

ضریب دبی

آستانه

جریان آزاد

خلاصه: دریاچه ها در سدها و کانال های آبیاری برای کنترل دبی و یا تنظیم سطح آب بکار می روند. برای تعیین دبی جریان از زیر دریاچه ها نیاز به دانستن ضریب دبی می باشد. این تحقیق به بررسی تأثیر شکل آستانه در زیر دریاچه کشویی عمودی بر ضریب دبی برای جریان آزاد می پردازد. هر دو پارامتر شکل آستانه و ارتفاع آستانه مورد مطالعه قرار می گیرند. شکل های آزمایش شده شامل آستانه های چندوجهی و غیر چندوجهی می باشد. بر اساس نتایج بدست آمده از شکل های آزمایش شده، آستانه دایره ای مؤثرترین شکل است و آستانه مثلثی از جمله بهترین آستانه های چندوجهی می باشد. آستانه دایره ای ضریب دبی را حداقل ۲۳ درصد و حداکثر ۳۱ درصد افزایش می دهد. همچنین علاوه بر شکل، ارتفاع آستانه نقش مهمی در ضریب دبی ایفا می کند. با استفاده از تحلیل ابعادی و تحلیل رگرسیون غیر خطی، معادله ای برای پیش بینی ضرایب دبی دریاچه جریان آزاد بدون آستانه و دارای آستانه ارائه می گردد. معادله توسعه یافته موافق با نتایج تجربی و همچنین داده های منتشر شده از محققان دیگر می باشد.

۱- مقدمه

به رودخانه و کانال احداث می شوند. از انواع دریاچه ها می توان به دریاچه های زیرگذر اشاره کرد که حرکت آب از زیر دریاچه صورت می گیرد و تنظیم و کنترل دبی عبوری بر اساس میزان بازشدگی دریاچه صورت می پذیرد. از مهمترین و پرکاربردترین دریاچه های زیرگذر می توان به دریاچه های کشویی و شعاعی (قطاعی) اشاره نمود. تخمین دبی جریان عبوری از زیر دریاچه ها یکی از مهمترین مسائل در علم مهندسی آب است. تخمین درست و دقیق دبی جریان عبوری مستلزم انتخاب ضریب دبی مناسب می باشد.

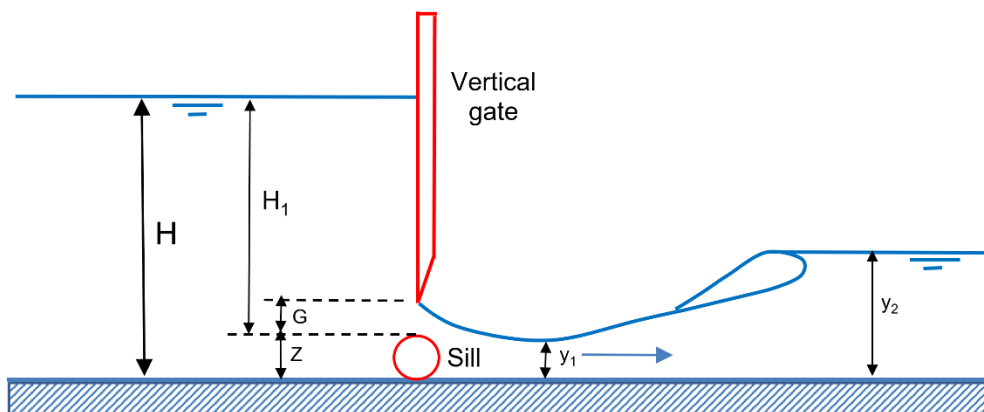
خصوصیات جریان زیر دریاچه ها به نحو گسترده ای از لحاظ تئوری و آزمایشگاهی توسط بسیاری از محققان از جمله هنری [۲]، هندرسون [۳]، راجاراتنام و سابرامانیا [۴]، راجاراتنام [۵]، سوامی [۶]، اوهاتسو و یاسودا [۷] مورد مطالعه قرار گرفته است. مقطع طولی از یک دریاچه کشویی عمودی دارای آستانه با جریان خروجی آزاد در شکل (۱) ارائه گردیده است.

به منظور کنترل دبی و یا تنظیم سطح آب در کانال های آب رسانی و همچنین کنترل آب رها شده از سدها از سازه های کنترل کننده جریان استفاده می شود. این نوع سازه ها انواع مختلفی دارند که دریاچه ها یکی از مهمترین آن ها می باشند [۱]. دریاچه ها خود انواع مختلفی دارند که هر کدام امتیازات و نقائص مربوط به خود را داشته و با توجه به موقعیت کاربرد و خصوصیات استفاده از آن ها می توان یکی از انواع را انتخاب نمود. به دلیل روابط هیدرولیکی ساده که بر دریاچه ها حاکم هستند، از این نوع سازه ها زیاد استفاده می شود. دریاچه ها به دو نوع جریان با خروجی آزاد و جریان با خروجی مستغرق تقسیم می شوند که هر کدام روابط مربوط به خود را دارا می باشند. از لحاظ محل استفاده، دریاچه ها در کانال های آب رسانی، بالای تاج سرریز سدها و یا در محل خروج آب از دریاچه

هیدرولیک مربوط به دریاچه ها به دو نوع جریان با خروجی آزاد و

*نویسنده عهده دار مکاتبات: Salmasi@tabrizu.ac.ir





شکل ۱. دریچه کشویی با جریان خروجی آزاد
Fig. 1. Sluice gate with free flow condition

مناسب می توان ضریب فشردگی و دبی جریان را در دریچه های کشویی با جریان آزاد محاسبه نمود. خلیلی شایان و همکاران [۱۰] در پژوهش خود خصوصیات جریان عبوری از زیر دریچه های کشویی و قطاعی در شرایط جریان آزاد و مستغرق را بررسی نمودند. ایشان با استفاده از معادلات انرژی و مومنتم و بهره گیری از نتایج آزمایشگاهی سایر پژوهشگران مطالعه خود را انجام دادند. در شرایط جریان آزاد، معادله ای برای تخمین ضریب افت انرژی دریچه ارائه و کاربرد آن در افزایش دقت برآورد ضریب دبی در شرایط جریان آزاد نشان داده شد. در شرایط جریان مستغرق نیز، معادله ای نظری برای تخمین ضریب دبی دریچه های کشویی و سه نوع دریچه قطاعی با لبه لاستیکی سخت، چوپوقی سان و لبه تیز گسترش داده شد. نتایج نشان داد که در شرایط معین، مقدار گذردهی جریان از دریچه قطاعی با لبه لاستیکی سخت نسبت به نوع لبه تیز و نوع چوپوقی سان بیشتر است. برقی خضولو و همکاران [۱۱] روشی نوین جهت تخمین ضریب دبی دریچه های کشویی در شرایط جریان آزاد و مستغرق را توسعه دادند. این روش ضریب دبی دریچه را به صورت تابعی از عمق آب در بالادست دریچه و قرائت مانومترهای نصب شده در کف مقطع دریچه و مستقل از شرایط جریان، بازشدگی دریچه و عمق پایاب، به دست می دهد. به جهت عدم وابستگی ضریب دبی به عمق پایاب، این روش از مزیت های عمده ای چون تخمین پیوسته در شرایط جریان آزاد و مستغرق بر اساس یک معادله واحد و دقت بالاتر در دامنه استغراق های کمتر برخوردار است. با این وجود، روش پیشنهادی حساسیت قابل توجهی به فشار مانومتری زیر دریچه، به

جریان با خروجی مستغرق تقسیم می شود که روابط حاکم بر آن ها به شرح زیر است:

با توجه به شکل ۱ و با صرف نظر کردن از افت انرژی در محل بازشدگی دریچه و با نوشتن رابطه ی انرژی بین مقطع بالادست و پایین دست دریچه، روابط زیر برای دبی جریان در حالت جریان با خروجی آزاد بدست می آیند.

$$q = C_d \cdot G \cdot \sqrt{2g(H-Z)} \quad (1)$$

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c \cdot G}{H-Z}}} \quad (2)$$

که در آن q دبی در واحد عرض دریچه، C_d ضریب دبی دریچه، G مقدار بازشدگی دریچه، g شتاب ثقل، H عمق آب در پشت دریچه، Z ارتفاع آستانه و C_c ضریب فشردگی (انقباض) دریچه می باشد. در کارهای عملی ضریب انقباض برابر ۰/۶۱۱ از دقت مناسبی برخوردار است. برای جریان با خروجی مستغرق نیز می توان از روابط مذکور استفاده کرد؛ با این تفاوت که ضریب دبی علاوه بر G/H به G/y_2 هم بستگی خواهد داشت. هنری [۲] ضریب دبی برای دو حالت جریان آزاد و مستغرق را به صورت نمودار ارائه نمود.

گل محمدی و بیرامی [۹] بر اساس معادله انرژی و مفهوم افزایش فشار در اثر انحنای مقعر سطح آب، روابطی برای تخمین ضریب فشردگی و دبی جریان در دریچه های کشویی و قطاعی با جریان آزاد ارائه نمود. بر اساس روابط ارائه شده، با داشتن عمق آب در بالادست دریچه و میزان بازشدگی دریچه، به راحتی و با دقت

ویژه در محدوده استغراق بیشتر دارد.

با توجه به پژوهش های مختلف صورت گرفته، وجود آستانه در کف کانال می تواند موجب بهبود عملکرد دریچه شود [۱] و [۸]. از فواید آستانه در زیر دریچه های قطاعی می توان جلوگیری از تأثیر رسوبات بر کارکرد دریچه و تغییر ضریب دبی به ازای حالت های مختلف دریچه و متعاقب آن تغییر دبی جریان را نام برد. در واقع وجود آستانه در زیر دریچه ها، ارتفاع دریچه ها را کم نموده و تأثیر نیروی فشاری آب را بر آن کاهش می دهد. با توجه به کاهش ارتفاع دریچه ها، وزن دریچه ها نیز کم می شود. لذا به نظر می رسد که وجود آستانه در موقعیت مناسب و شکل مناسب موجب بهبود عملکرد دریچه گردد. در این مطالعه سعی خواهد شد شکل مناسب آستانه برای دریچه های کشویی عمودی معرفی شود.

اولین مطالعه مدرن در مورد دریچه های قائم توسط راجاراتنام و سابرامانیا [۴] صورت گرفت. بر اساس آزمایش های انجام شده، آن ها به این نتیجه رسیدند که مقدار C_d ارتباط مستقیم با نسبت G/H دارد و در صورتی که این نسبت کوچک تر از $0/3$ باشد می توان مقدار C_d را از رابطه ی زیر محاسبه کرد:

$$C_d = 0.0297 \frac{G}{H} + 0.589 \quad (3)$$

سوامی [۶] نیز با رگرسیون گیری غیرخطی از نتایج مشاهدات هنری [۲]، برای حالت آزاد رابطه ی (۴) را ارائه کرد.

$$C_d = 0.611 \left(\frac{H-G}{H+15G} \right)^{0.071} \quad (4)$$

آستانه های قرار گرفته در زیر دریچه ها عمدتاً برای کاهش ارتفاع دریچه و در نتیجه وزن آن مورد استفاده قرار می گیرند. بسیاری از محققان تأثیر آستانه را روی خصوصیات جریان خروجی آزاد مورد مطالعه قرار داده اند. این مطالعات به لحاظ تجربی تأثیر آستانه های دوزنقه ای با ابعاد مختلف را روی ضریب تخلیه بررسی کرده اند. در مجموع، این مطالعات نشان می دهند که حضور آستانه ها زیر دریچه ضریب تخلیه را افزایش می دهد و این افزایش به ابعاد آستانه بستگی دارد.

شیواپور و ششا پراکاش [۱۲] بررسی های آزمایشگاهی برای تعیین ضریب دبی جریان دریچه کشویی عمودی و مایل انجام دادند. ایشان آزمایش های خود را برای ۴ زاویه صفر (دریچه عمود بر جهت جریان)، ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه (زاویه با امتداد قائم و مایل شدن دریچه

به سمت بالادست) انجام دادند. برای دقت بیشتر در اندازه گیری دبی جریان، به جای استفاده از سرریز، از روش حجمی بهره برده شد. حجم مخزن $4/53$ مترمکعب بود. به عقیده ایشان، دریچه عمودی باعث همگرایی جریان از زیر آن می شود و هر عاملی که این همگرایی را بیشتر کند (مثل مایل کردن دریچه)، موجب افزایش ضریب دبی می گردد. نامبردگان رابطه زیر برای تعیین ضریب دبی در حالت جریان آزاد را ارائه نمودند که در آن α زاویه دریچه (بر حسب رادیان) با امتداد قائم بوده و سایر عوامل قبلاً تعریف شده اند.

$$C_d = 0.645(1+0.35\alpha^{1.25}) \left(\frac{H-G}{H+15G} \right)^{0.072} \quad (5)$$

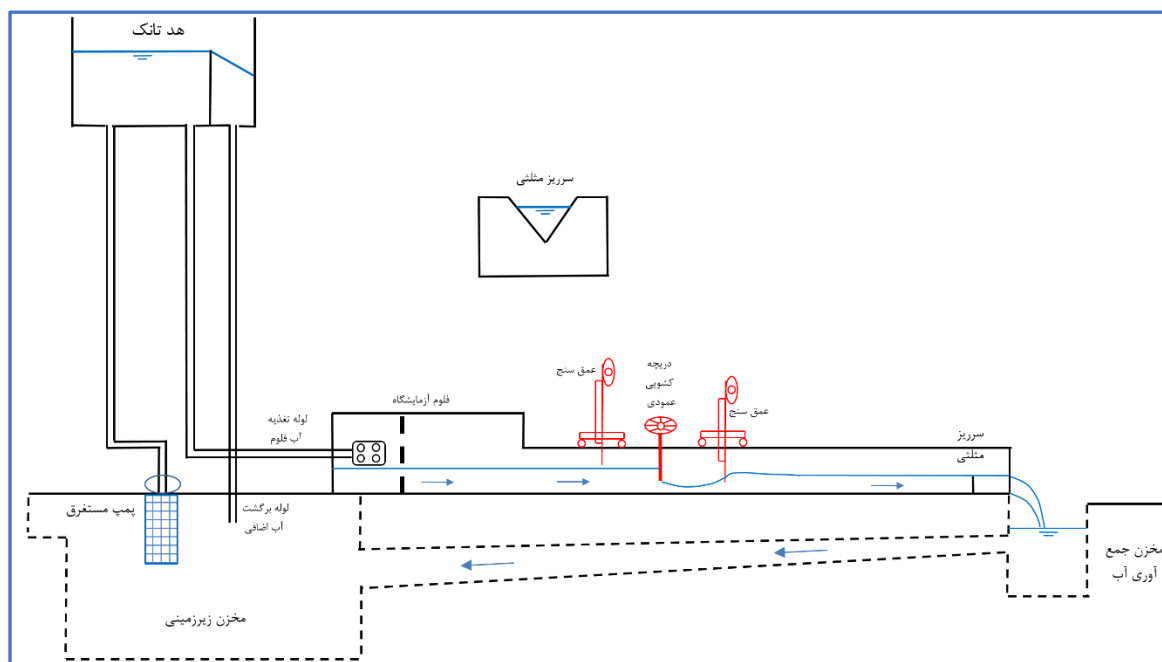
همچنین شیواپور و ششا پراکاش [۱۲] برای تعیین ضریب دبی در حالت جریان مستغرق معادله ی زیر را ارائه کردند که عوامل آن در شکل ۱ تعریف شده اند:

$$C_d = 0.645(1+0.152\alpha^{0.7}) \left(\frac{H-G}{H+15G} \right)^{0.072} \left\{ -0.9052 \left(\frac{y_2}{H} \right)^2 + 0.3781 \left(\frac{y_2}{H} \right) + 0.8394 \right\} \quad (6)$$

ضریب دبی برای دریچه مایل با زاویه ۴۵ درجه نسبت به قائم $25/88$ درصد افزایش نسبت به دریچه قائم و برای حالت جریان آزاد را نشان داد. این مقدار برای شرایط جریان مستغرق $11/24$ درصد بدست آمد.

در تحقیق حبیب زاده و همکاران [۱۳] افت انرژی بین بالادست دریچه و مقطع با تنگ شدگی جریان تعیین شد. در اکثر تحقیقات گذشته این افت به علت ناچیز بودن نادیده گرفته شده است. در جریان آزاد این افت بر اثر جریان چرخشی در بالادست دریچه ایجاد می شود. اثر افت انرژی به صورت $kV_2^2/2g$ در نظر گرفته شد که در آن k ضریب افت و V_2 سرعت در مقطع تنگ شده جریان است. نتایج نشان داد که ضریب افت برای جریان آزاد $0/062$ و برای جریان مستغرق $0/088$ می باشند.

ناصحی اسکویی و سلماسی [۱۴] با کاربرد دو معادله انرژی و اندازه حرکت و حل هم زمان آن ها با نرم افزار ممتیکا (Mathematica)، تعداد ۵۲۰۰ داده برای تعیین ضریب دبی دریچه های کشویی عمودی تولید نمودند. سپس دو معادله ی رگرسیونی توسط نرم افزار SPSS برای شرایط جریان آزاد و مستغرق بدست آوردند. نتایج نشان داد که



شکل ۲. جزئیات تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق
 Fig. 2. Details of the laboratory equipment used in this study

توسط یک سرریز مثلثی کالیبره شده در پایین دست اندازه گیری می شود. عمق های جریان با اندازه گیری های نقطه ای با دقت $\pm 0/1$ میلی متر اندازه گیری شدند. در شکل ۲ جزئیات فلوم آزمایشگاهی، هد تانک، مخزن آب زیرزمینی و سرریز مثلثی برای اندازه گیری دبی جریان مشاهده می شود. در شکل ۳ جریان از زیر دریچه کشویی عمودی دیده می شود. پرش هیدرولیکی ضعیفی در پایین دست دریچه و سمت چپ رخ داده است.

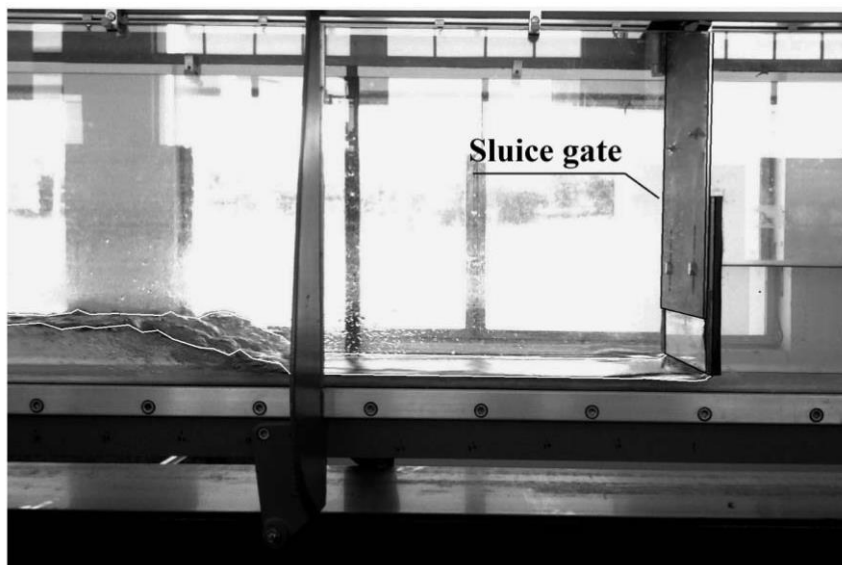
علاوه بر مورد غیر آستانه ای، دوازده آستانه متفاوت در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفتند. این سطح مقطع های آستانه ای، پنج شکل متفاوت دارند: مثلثی، دوزنقه ای، دایره ای، نیم دایره و نمای گردشده با پایین دست مثلثی (شکل ۴). آستانه ها از چوب ضد آب ساخته شدند و با لایه نازکی از روغن جلا پوشانده شدند تا شکل خود را در مقابل آب حفظ نمایند. مطابق شکل ۳، آستانه ها در بستر به طریقی ثابت شدند که تاج آستانه مستقیماً، در زیر دریچه قرار گرفته اند. ۹ مورد از این آستانه ها به ارتفاع ۵ سانتی متر بودند و ۳ آستانه دایره ای به ارتفاع ۲/۳۵ سانتی متر، ۳/۳ سانتی متر و ۸ سانتی متر بودند. شرایط جریان متفاوت با محدوده دبی مابین ۱۲ تا ۲۶ لیتر بر ثانیه و ۴ بازشدگی دریچه در نظر گرفته شد و لذا مجموعاً

روش پیشنهادی با دیاگرام هنری [۲] مطابقت دارد. در تحقیق مذکور ضریب انقباض دریچه ۰/۶۱ فرض شد.

این تحقیق نتایج بررسی تجربی تأثیر ارتفاع و شکل آستانه از جمله اشکال چند وجهی و غیر چند وجهی را ارائه می نماید که در زیر دریچه قائم قرار گرفته اند. آزمایش ها در مجرای مستطیلی افقی برای حالت های جریان آزاد خروجی دریچه انجام شدند. همچنین معادله ی رگرسیونی برای ارزیابی ضریب دبی برای هر دوی دریچه های آستانه ای و غیر آستانه ای ارائه گردیده و عملکرد آن با داده های محققان دیگر مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

۲- مواد و روش ها

آزمایش ها در فلومی با دیواره های شفاف پلکسی گلاس انجام شدند. فلوم به طول ۹/۴ متر و عرض ۳۰/۵ سانتی متر بود. عمق فلوم ۱۱۰ سانتی متر برای ۲/۷ متر در ابتدا و عمق ۵۳ سانتی متر برای بقیه طول فلوم بود. فلوم به دو دریچه کنترل کننده مجهز شد که یکی مربوط به دریچه عمودی روی مقطع مورد مطالعه و دیگری روی دریچه انتهایی در پایین دست فلوم قرار داشت. جریان به یک پمپ مجهز بود که دارای حداکثر ظرفیت ۵۰ لیتر بر ثانیه می باشد و دبی



شکل ۳. جریان از زیر دریچه کشویی عمودی به همراه پرش هیدرولیکی ضعیف در پایین دست دریچه (سمت چپ)
 Fig. 3. Flow under the vertical sluice gate with a hydraulic jump at the downstream of the gate

حالت آزاد به صورت زیر خواهد بود:

$$F_3 \left(\frac{H_1}{p}, \frac{Z}{G}, \frac{R_s}{G}, \frac{R_s}{H_1}, C_d = \frac{q}{G\sqrt{2gH_1}}, R_n = \frac{\rho Q q}{\mu H_1} \right) = 0 \quad (9)$$

در رابطه (۹)، $H_1 = H - z$ عمق جریان بالادست اندازه گیری شده از روی آستانه می باشد. در ضمن R_n عدد رینولدز است که در جریان های آشفته که در زیر دریچه اتفاق می افتد از آن صرف نظر می شود. همچنین C_d ضریب دبی و μ بی بعد می باشد و در حقیقت همان عدد فرود زیر دریچه است. لذا معادله نهایی برای تعیین ضریب دبی به صورت زیر بدست می آید:

$$C_d = F_4 \left(\frac{H_1}{p}, \frac{Z}{G}, \frac{R_s}{G}, \frac{R_s}{H_1} \right) \quad (10)$$

۲-۲- معیارهای ارزیابی

مطابق روابط (۷) و (۸) به کمک شاخص آماری خطای نسبی (RE) و ضریب تبیین (R^2) بین ضریب دبی مشاهداتی و محاسباتی مقایسه صورت گرفت.

$$RE = \frac{|P_i - O_i|}{O_i} \quad (11)$$

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (12)$$

تعداد ۱۸۰ اجرا مورد آزمایش قرار گرفته اند.

برای محاسبه ضریب دبی از رابطه ی (۱) که شکل ساده شده معادله انرژی است استفاده گردید (شکل ۱) و تأثیر شکل و ارتفاع آستانه در ادامه مورد بحث قرار می گیرند.

۲-۱- آنالیز ابعادی

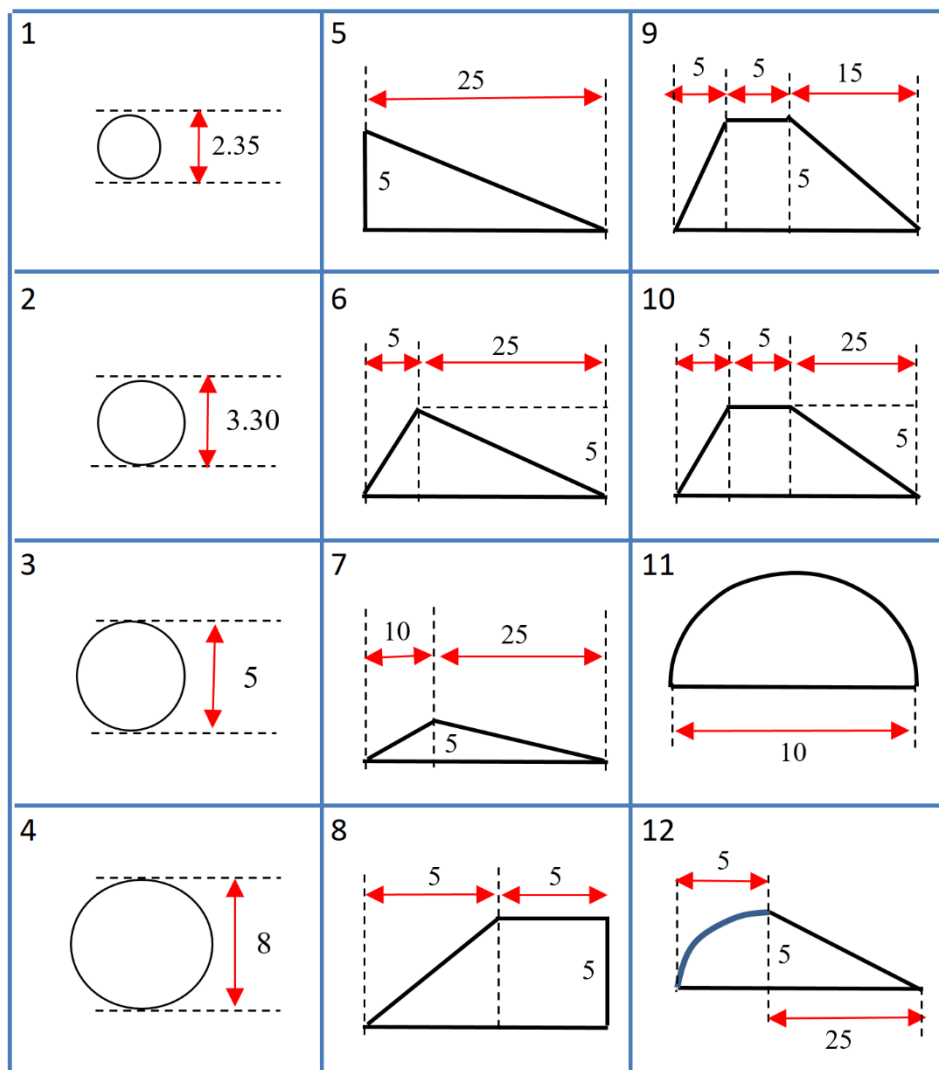
برای جریان آزاد از زیر دریچه کشویی عمودی دارای آستانه که در شکل ۱ نشان داده شده است، روابط کاربردی برای تعیین C_d به صورت زیر نوشته می شود:

$$F_1(\rho, Q, b, g, \mu, H, Z, G, \Phi) = 0 \quad (7)$$

که در آن ρ جرم مخصوص آب، Q دبی جریان، b عرض کانال، g شتاب ثقل، μ ویسکوزیته دینامیک آب، H عمق آب در پشت دریچه، Z ارتفاع آستانه، G مقدار بازشدگی دریچه و Φ که تابعی است که به شکل آستانه وابسته می باشد. دبی در واحد عرض کانال به صورت $q = Q/b$ تعریف می شود. در این تحقیق برای تابع شکل آستانه (Φ) از محیط خیس شده (p) و شعاع هیدرولیکی (R_s) مقطع عرضی آستانه ها استفاده شده است. بنابراین داریم:

$$\Phi = F_2(R_s, p) \quad (8)$$

طبق قضیه باکینگهام ضریب دبی دریچه کشویی با آستانه در



شکل ۴. آستانه های مختلف آزمایش شده (تمام واحدها سانتیمتر است)

Fig. 4. Different tested sills (all units are in cm)

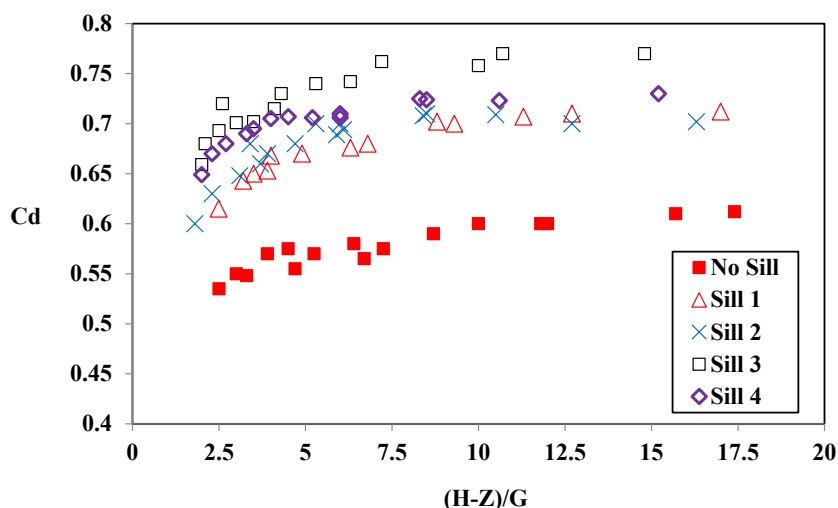
بیشتر از دريچه بدون آستانه است. همچنين از هنگامي که ارتفاع آستانه افزايش می يابد، مقادير C_d افزايش می يابد تا جایی که به یک ارتفاع مشخص برسد، سپس مجدداً مقادير C_d کاهش می يابد. آستانه آزمایش شده با ارتفاع ۵ سانتی متر بالاترين ضريب دبی را ارائه می نمايد.

همچنين شکل ۵ نشان می دهد که با کاهش باز شدگی دريچه (G) ، ضريب دبی (C_d) افزايش می يابد. توجه هيدروليکی آن اين است که با کاهش باز شدگی دريچه، جريان از زیر آن همگرا شده و به همراه افزايش شتاب جريان، از فشار هيدرواستاتیک کاسته می شود. به طوری که فشار به کمتر از $\gamma_w H_1$ می رسد که در آن γ_w وزن مخصوص آب است. اين کاهش فشار و مکش آب، موجب افزايش C_d می گردد. نتايج پژوهش های راجارائنام و هامفريز [۱۵] نیز نشان

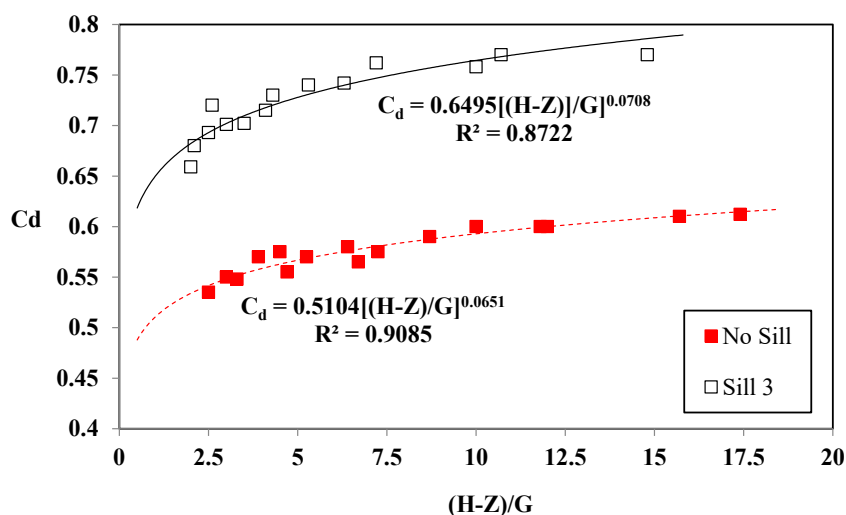
در معادله های فوق متغيرهای P_i و O_i به ترتيب مقادير حاصل از رابطه رياضي رگرسيون و اندازه گيري شده، \bar{P} و \bar{O} به ترتيب متوسط مقادير رابطه رياضي و اندازه گيري شده و n تعداد کل داده ها است. هر چه مقدار شاخص (RE) کمتر باشد و همچنين هر چه مقدار (R^2) بيشتر باشد، دقت روش بالاتر خواهد بود.

۳- نتايج و بحث

همانطوری که قبلاً اشاره شد چهار آستانه دایره ای دارای ارتفاع (قطر) ۲/۳۵ سانتی متر، ۳/۳ سانتی متر، ۵ سانتی متر و ۸ سانتی متر مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل ۵ نشان می دهد که ارتفاع آستانه نقش مهمی در مقادير C_d ایفا می کند. در دريچه با آستانه، ضريب دبی



شکل ۵. ضریب دبی دریاچه دارای آستانه های دایره ای با قطرهای متفاوت و مقایسه با حالت بدون آستانه
 Fig. 5. Comparison of discharge coefficient for sluice gate with circular sills and without sill



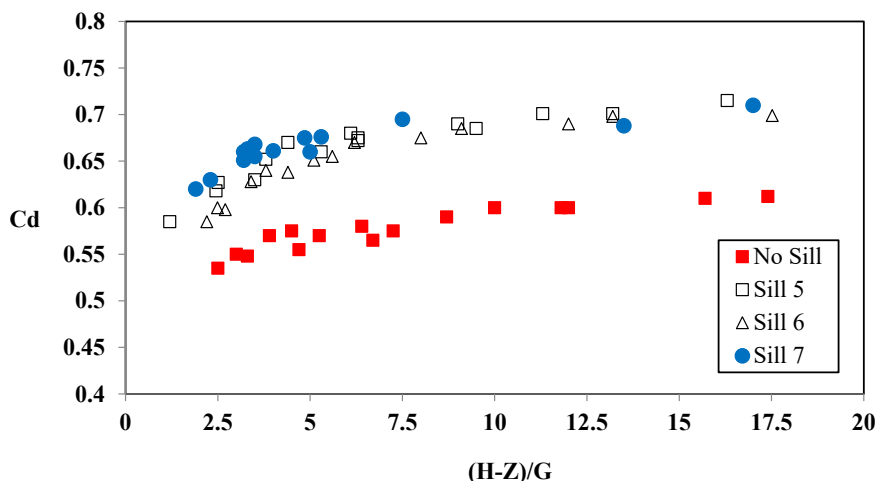
شکل ۶. ضریب دبی دریاچه با آستانه دایره ای و بدون آستانه
 Fig. 6. Discharge coefficient for vertical slide gate in two types (with circular sill under the gate and without sill)

۱-۳- آستانه چند وجهی

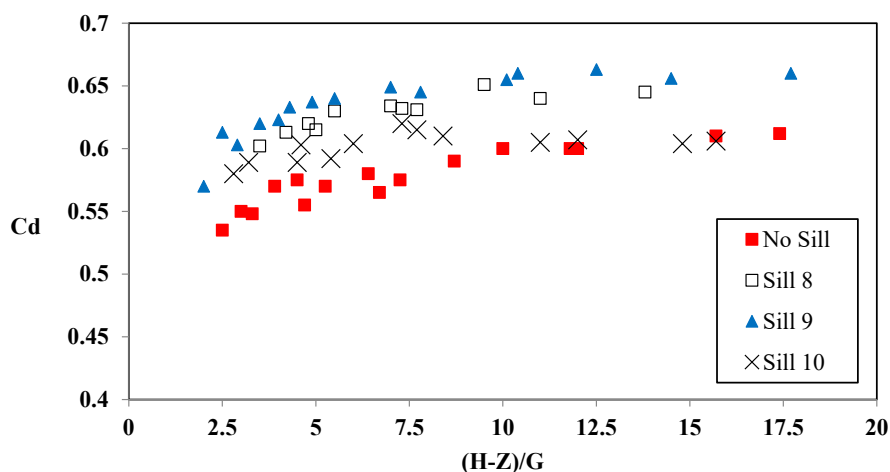
تأثیر شیب بالادست: تأثیر شیب بالادست روی C_d با استفاده از سه آستانه مثلثی دارای یک شیب پایین دست ثابت ۱:۵ (عمودی به افقی) و شیب های بالادست ۱۷:۰H، ۱۷:۱H و ۱۷:۲H مورد آزمایش قرار گرفت. در شکل ۷ تغییرات ضریب تخلیه در مقابل پارامترهای بی بعد $(H-Z)/G$ ارائه شده است. شکل نشان می دهد که به خصوص برای مقادیر $(H-Z)/G$ کمتر از ۸، تأثیر شیب بالادست بیشتر می باشد؛ اما برای مقادیر $(H-Z)/G$ بیشتر، تأثیر شیب جریان به حداقل می رسد.

داده که کاهش فشار از زیر دریاچه تا فاصله ۵ برابر ارتفاع بازشدگی دریاچه (ΔG) در بالادست دریاچه ایجاد می گردد.

در شکل ۶ ضریب دبی دریاچه با آستانه به ارتفاع ۵ سانتی متر (آستانه ۳) با حالت بدون آستانه مقایسه شده است. مشاهده می شود که آستانه دایره ای ضریب دبی را حداقل ۲۳ درصد و حداکثر ۳۱ درصد افزایش داده است. همچنین در شکل ۶ دو معادله توانی با ضرایب تعیین مناسب ۰/۸۷ و ۰/۹۱ به ترتیب برای حالت آستانه دار و بدون آستانه برازش داده شده اند.



شکل ۷. تأثیر شیب بالادست روی ضریب دبی در آستانه مثلثی
Fig. 7. Effect of upstream slope on the C_d in the triangular sill

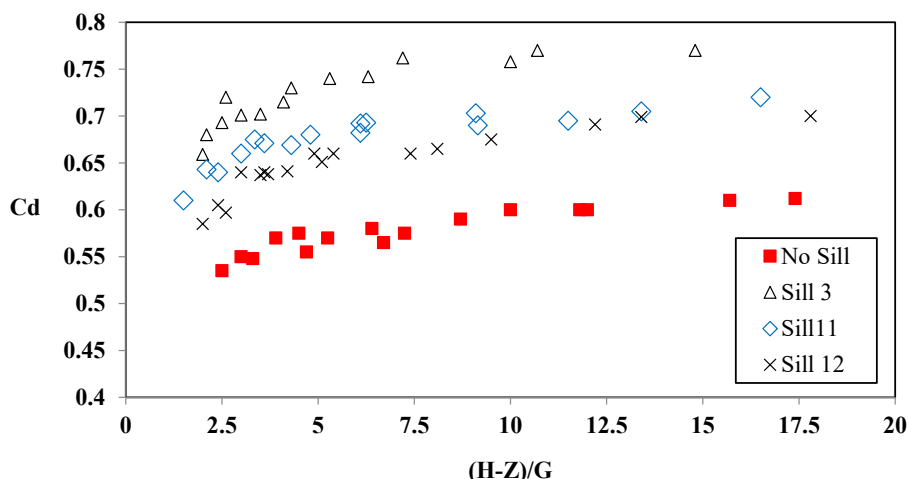


شکل ۸. تأثیر شیب پایین دست آستانه روی ضریب دبی در آستانه ذوزنقه‌ای و مقایسه با حالت بدون آستانه
Fig. 8. Effect of downstream slope on the C_d in the trapezoidal sill

سه آستانه و همچنین بدون آستانه را نشان می‌دهد. شکل ۸ نشان می‌دهد که شیب پایین دست تأثیر مثبتی روی ضریب دبی دارد و در بین آستانه‌های ذوزنقه‌ای شیب پایین دست $۱۷:۳H$ بیشترین تأثیر را در افزایش C_d دارد (آستانه شماره ۹). در این جا نیز همانند دلیل ارائه شده برای اثر شیب بالادست بر C_d می‌توان اظهار نمود که به ازای شیب پایین دست ملایم‌تر، خطوط جریان دورشونده از دریچه به آرامی تغییر جهت داده و لذا افت انرژی کمتری را باعث می‌شوند. منتها برای شیب پایین دست $۱۷:۵H$ چون کاهش شیب موجب افزایش طول وجه شیب دار شده، لذا طول تماس جریان آب با وجه شیب دار افزایش یافته و افت انرژی را بیشتر نموده است.

برای آستانه‌های آزمایش شده، شیب بالادست $۱۷:۲H$ بهترین شیب در نظر گرفته می‌شود، چون حداکثر ضریب دبی را ارائه می‌نماید (آستانه شماره ۷). دلیل هیدرولیکی آن را می‌توان این‌گونه توجیه نمود که به ازای شیب بالادست ملایم‌تر، خطوط جریان نزدیک شونده به دریچه به آرامی تغییر جهت داده و لذا افت انرژی کمتری را باعث می‌شوند. افت انرژی کمتر، باعث افزایش C_d می‌گردد.

تأثیر شیب پایین دست: برای درک تأثیر شیب پایین دست آستانه روی C_d ، سه آستانه ذوزنقه‌ای با شیب بالادست ثابت $۱۷:۱H$ و شیب‌های پایین دست از $۱۷:۰H$ ، $۱۷:۳H$ و $۱۷:۵H$ مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل ۸ تغییرات C_d با $(H-Z)/G$ برای



شکل ۹. ضریب دبی برای آستانه های غیر چند وجهی
 Fig. 9. Variation of C_d for non-polyhedron sills

آزمایش های ۵ تحقیق دیگر راجارانتام و سابرامانیا [۴]، راجارانتام [۵]، نگم و همکاران [۸]، سوامی [۶] و شیواپور و ششا پراکاش [۱۲] مقایسه شده است. ضریب های معادله (۴) مجدداً بر اساس داده های کنونی ارزیابی شدند و رابطه ی (۱۳) برای تخمین ضریب دبی دریچه کشویی قائم و بدون آستانه با جریان آزاد حاصل گردید.

$$C_d = 0.63 \left(\frac{H-G}{H+15G} \right)^{0.0649} \quad (13)$$

معادله ی (۱۳) با داده های موجود از دیگر محققان در شکل ۱۰ همخوانی داشته و مقدار C_d را به طور صحیح با حداکثر خطا کمتر از ۲/۷ درصد برای داده های کنونی و کمتر از ۴/۸ درصد برای کل داده های موجود پیش بینی می کند.

ب- دریچه با آستانه

برای آستانه های چند وجهی، شیب پایین دست و شکل تاج پارامترهای اصلی شکل هستند. درحالی که برای اشکال غیر چند وجهی این طور نیست. از این رو یک عامل شکلی مورد نیاز است که در این تحقیق محیط خیس شده آستانه (P) و شعاع هیدرولیکی آستانه $\left(R_s = \frac{A}{P} \right)$ انتخاب گردید که در آن A سطح مقطع آستانه است. با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی، معادله ی (۱۴) به

دست آمد:

$$C_d = 0.63 \left(\frac{H_1 - G}{H_1 + 15G} \right)^{0.0649} \frac{\left(1 + \frac{Z}{G} \right)^{0.3618} \left(1 + \frac{H_1}{P} \right)^{0.0434}}{\left(1 + \frac{R_s}{G} \right)^{0.5169} \left(1 - \frac{R_s}{H_1} \right)^{0.3887}} \quad (14)$$

لذا کاهش افت انرژی با ملایم نمودن شیب، تا یک حد و آستانه ای صورت پذیرفته و برای شیب های خیلی ملایم، اثر طول تماس جریان با وجه شیب دار غالب شده و افت انرژی را افزایش داده است. به نظر می رسد در این مورد نیاز به آزمایش های بیشتری باشد.

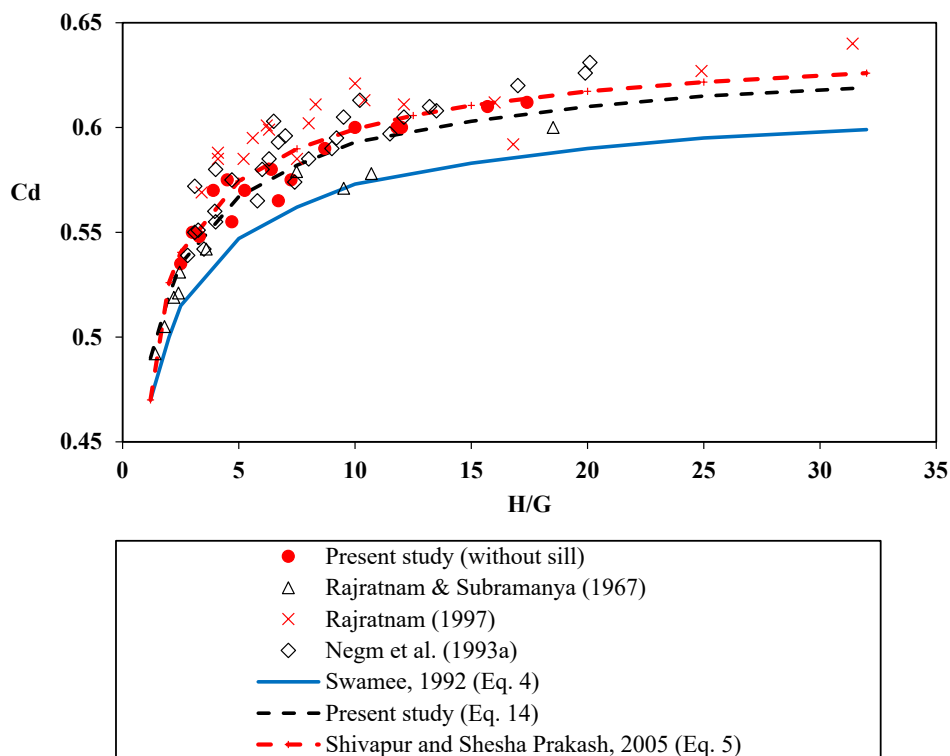
۲-۳- آستانه غیر چند وجهی

شکل ۹ تأثیر آستانه غیر چند وجهی بر ضریب دبی را نشان می دهد. در این شکل نتایج بدست آمده برای سه آستانه متفاوت دارای ارتفاع ۵ سانتی متری نشان داده می شوند. این آستانه ها به شکل دایره ای، نیم دایره ای و ربع دایره دمدمار با شیب پایین دست ۱۷:۵H است. شکل ۹ نشان می دهد که یک آستانه دایره ای شکل بالاترین ضریب دبی را در مقایسه با موارد دیگر ارائه می نماید (آستانه شماره ۳). آستانه دایره ای به قطر ۵ سانتی متر به افزایش متوسطی در حدود ۲۸/۶٪ بالاتر از مقادیر C_d غیر آستانه ای منجر می شود، در حالی که آستانه چند وجهی مثلثی شکل افزایش متوسطی در حدود ۱۹٪ بیشتر از مقدار C_d مورد غیر آستانه ای ایجاد می نماید. وجود آستانه ها ممکن است فشار منفی در پایین دست دریچه ها ایجاد کند که دبی جریان و بنابراین C_d را افزایش دهد.

۳-۳- توسعه معادله دبی

الف- دریچه غیر آستانه ای

در شکل ۱۰ نتایج محاسبه C_d بدون آستانه در این تحقیق با نتایج



شکل ۱۰. مقادیر C_d برای دریچه کشویی قائم بدون آستانه در این تحقیق و مقایسه با سایر محققان

Fig. 10. Variation of C_d for vertical sluice gate without sill in present study and comparison with the other studies

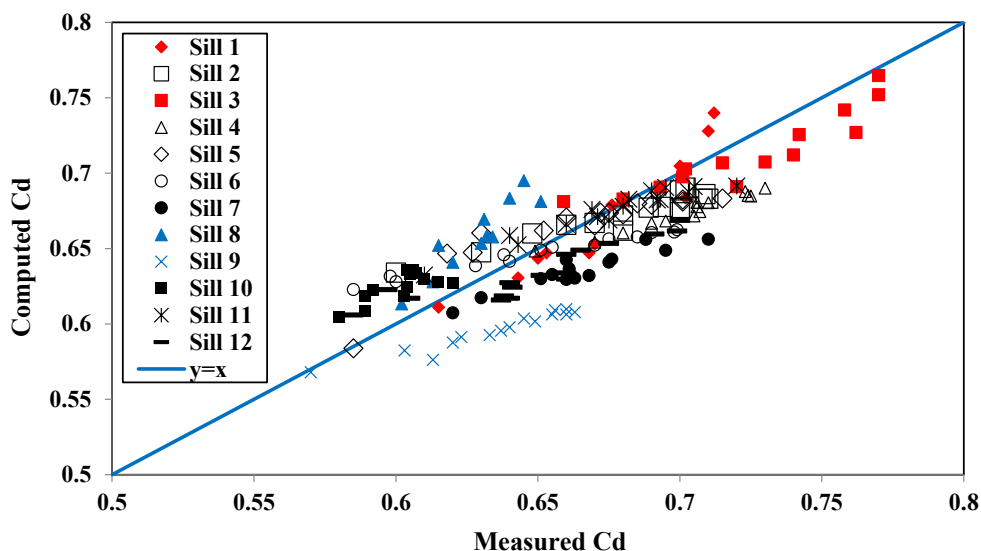
آستانه کاربرد دارد.

معادله ی (۱۴) بیانگر این موضوع است که با افزایش محیط خیس شده آستانه، از ضریب دبی کاسته می شود. در واقع افزایش محیط خیس شده باعث تماس بیشتر جریان آب با سطح آستانه داشته و این خود موجب افت بیشتر انرژی جریان می شود. افت بیشتر انرژی به نوبه خود از دبی جریان می کاهد.

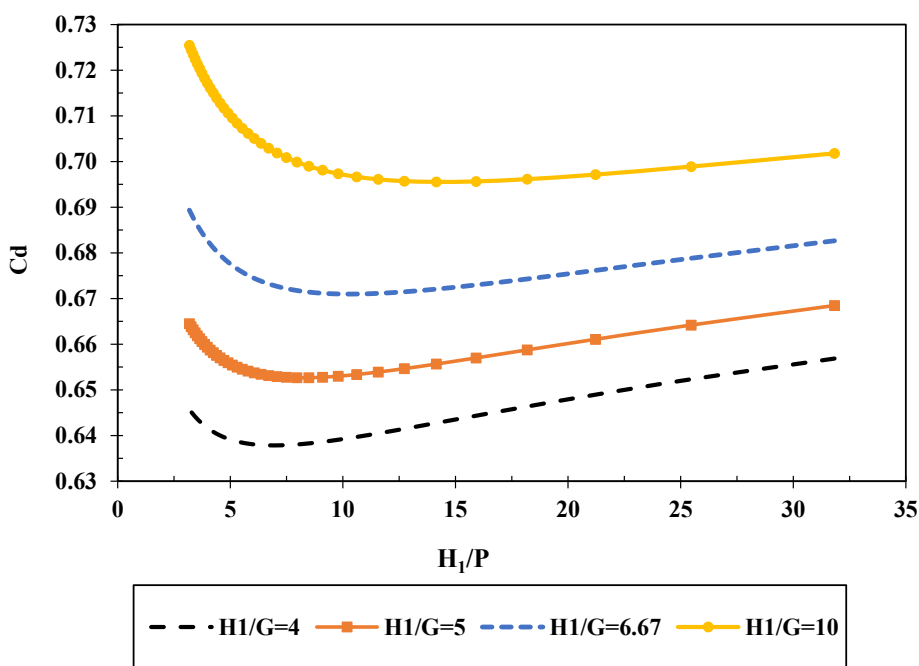
شکل ۱۱ مقایسه بین C_d اندازه گیری شده و موارد محاسبه شده با استفاده از معادله ی (۱۴) را ارائه می نماید که در آن تطابق قابل قبولی بین نقاط آزمایشگاهی و معادله رگرسیونی ۱۴ مشاهده می شود.

همان طوری که قبلاً اشاره شد، ارتفاع آستانه عامل مهمی در مقادیر C_d می باشد و به نظر می رسد یافته های آزمایش منطقی باشند که در آن مقادیر C_d ، با افزایش ارتفاع آستانه (Z) تا مقدار مشخصی، کاهش می یابد. سپس ضریب دبی با افزایش بیشتر Z روند افزایشی نشان می دهد. در شکل ۱۱، واضح است که معادله توسعه یافته مقادیر C_d را به نحو مناسبی پیش بینی می کند.

معادله ۱۴ را می توان برای هردوی جریان آزاد دریچه غیر آستانه ای و آستانه ای مورد استفاده قرار داد و می توان مقادیر C_d را با حداکثر خطای کمتر از ۶٪ پیش بینی کرد. برای دریچه غیر آستانه ای، Z برابر با صفر خواهد بود، P بینهایت خواهد بود و H_1 برابر با H می باشد و معادله (۱۴) به معادله (۱۳) تبدیل خواهد شد. برای بدست آوردن ضرایب ثابت و توان های رابطه ی (۱۴) از تکنیک ریاضی رگرسیون بهره برده شده است که در تحقیق حاضر از نرم افزار قدرتمند و شناخته شده SPSS استفاده گردیده است. معیار تولید معادله نیز اندازه گیری های آزمایشگاهی است که با صرف هزینه و وقت زیاد به انجام رسیده است. در ضمن قابل ذکر است که در توان ۰/۰۷۱ در معادله سوامی [۶] به توان ۰/۰۶۵ تغییر پیدا کرده است. سوامی [۶] از نتایج مشاهده های آزمایشگاهی هنری [۲] برای حالت جریان آزاد و دریچه بدون آستانه، معادله خود (رابطه ی (۴)) را ارائه نمود. رابطه ی (۱۴) ارائه شده در تحقیق حاضر، در حقیقت می تواند رابطه توسعه یافته و جایگزین معادله سوامی [۶] تلقی گردد، زیرا که هم برای دریچه با آستانه و هم برای دریچه بدون



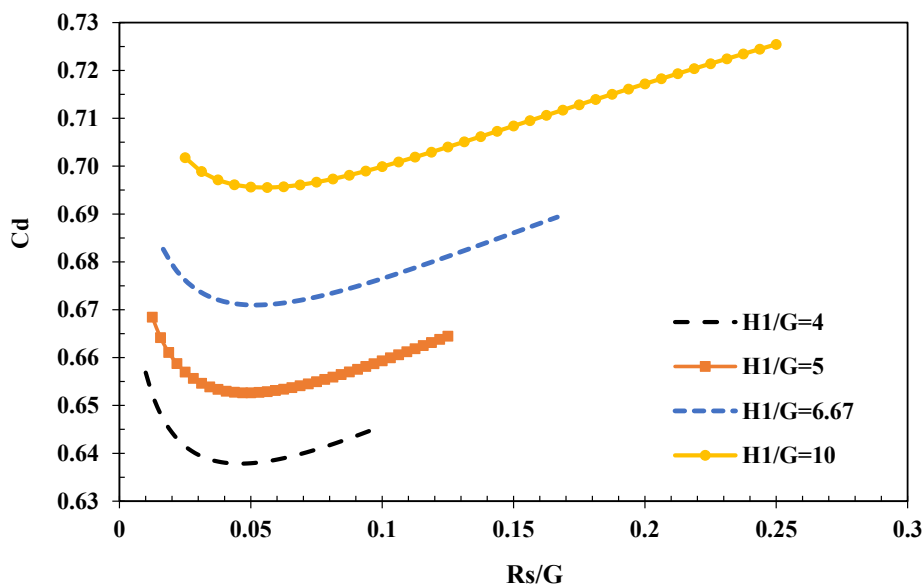
شکل ۱۱. مقادیر C_d اندازه گیری شده و محاسبه شده برای شکل های متفاوت آستانه
 Fig. 11. Measured and computed C_d values for different sill shapes



شکل ۱۲. تغییرات ضریب دبی در مقابل H_1/P به ازای چهار کمیت بی بعد H_1/G
 Fig. 12. Changes in C_d versus H_1/P for four dimensionless parameters of H_1/G

کمتر دریاچه (۰/۲ متر) مقدار ضریب دبی بیشتری نسبت به بازشدگی بیشتر (۰/۵ متر) ایجاد می کند. در ضمن به ازای یک مقدار مشخصی از بازشدگی دریاچه، ضریب دبی مقدار حداقل را اختیار می کند. این حداقل مقدار با بازشدگی دریاچه تغییر می کند و مقدار ثابتی نیست.

معادله ی (۱۴) اطلاعات مفیدی دیگری را در مورد ضریب دبی در اختیار می گذارد. شکل ۱۲ تغییرات ضریب دبی را در مقابل ارتفاع آستانه به ازای چهار بازشدگی ۰/۲ تا ۰/۵ متر دریاچه را ارائه می دهد. این شکل بر اساس معادله ی (۱۴) رسم گردیده است. بازشدگی



شکل ۱۳: تغییرات ضریب دبی در مقابل نسبت شعاع هیدرولیکی به بازشدگی دریاچه (R_s/G)
Fig. 13. Variations of C_d versus the R_s/G

با افزایش شعاع هیدرولیکی بوده و افزایش آن به علت همگرایی بیشتر خطوط جریان عبور کننده از زیر دریاچه است که این عامل بر افزایش مقاومت در برابر جریان از یک حدی به بعد غالب می گردد. حد نهایی ضریب دبی برای دریاچه آستانه دار 0.78 و حد نهایی آن برای حالت بدون آستانه 0.61 می باشد.

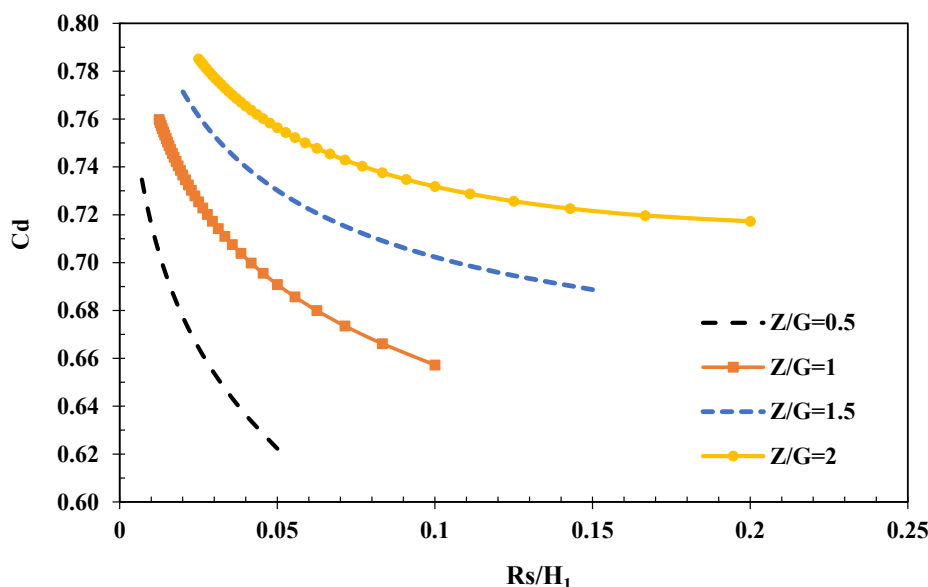
شکل ۱۴ تغییرات ضریب دبی در مقابل نسبت شعاع هیدرولیکی به ارتفاع آب بالادست دریاچه (R_s/H_1) به ازای چهار عامل بی بعد Z/G از 0.5 تا 2 و برای آستانه دایره ای را نشان می دهد. ملاحظه می گردد که با افزایش R_s/H_1 ، ضریب دبی روند کاهشی دارد. به بیان دیگر افزایش ارتفاع آب پشت دریاچه موجب افزایش ضریب دبی می گردد. به نظر می رسد که همگرایی بیشتر خطوط جریان عبور کننده از زیر دریاچه علت این پدیده باشد.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر ۱۲ آستانه با مقاطع مختلف هندسی مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است. این مقاطع شامل شکل های دایره، نیم دایره، مثلثی، دوزنقه ای و نمای گردشده با پایین دست مثلثی بودند. نمودارها و معادلات همبستگی بر اساس ۱۸۰ داده آزمایشگاهی بدست آمده اند. بررسی تأثیر شکل های مختلف هندسی آستانه بر ضریب دبی جریان در کارهای قبلی دیده نمی شود. نتایج

همچنین شکل ۱۲ نشان می دهد که ضریب دبی با افزایش نسبت بی بعد H_1/P ابتدا کاهش ولی سپس افزایش می یابد. احتمالاً توجیه فیزیکی آن این است که ابتدا با اندکی کاهش در P ، خطوط جریان نزدیک شونده به دریاچه بطور ناگهانی تغییر جهت داده و همگرا می شوند. این پدیده موجب کاهش جزئی در C_d می گردد (تغییر جهت خطوط جریان، افت انرژی را افزایش می دهد). منتها با کاهش بیشتر P ، این بار محیط خیس شده آستانه به سمت صفر میل نموده و باعث کاهش افت انرژی می گردد که به نوبه خود موجب افزایش در C_d می گردد. از طرف دیگر شکل ۱۲ نشان می دهد که با افزایش عامل بی بعد H_1/G ، ضریب دبی بیشتر می شود. به عبارت دیگر افزایش بار آبی پشت دریاچه و یا کاهش بازشدگی دریاچه، ضریب دبی را بیشتر می کند. هر دوی این عوامل موجب همگرایی بیشتر جریان از زیر دریاچه شده که به نوبت خود باعث افزایش ضریب دبی می گردند.

شکل ۱۳ تغییرات ضریب دبی در مقابل نسبت شعاع هیدرولیکی به بازشدگی دریاچه (R_s/G) به ازای چهار عامل بی بعد H_1/G از ۴ تا ۱۰ و برای آستانه دایره ای را نشان می دهد. منحنی های دریاچه با آستانه با استفاده از معادله d (۱۴) رسم شده اند. ملاحظه می شود که با افزایش R_s/G ، ضریب دبی ابتدا کاهش و سپس افزایش می یابد. کاهش آن به دلیل افزایش مقاومت در برابر جریان و افت انرژی بیشتر



شکل ۱۴: تغییرات ضریب دبی در مقابل نسبت شعاع هیدرولیکی به ارتفاع آب بالادست دریاچه

Fig. 14. Variations of C_d versus the (R_s/H_1)

بیشتری مانند توزیع سرعت و فشار در بالادست، زیر دریاچه و پایین دست دریاچه در اختیار قرار دهد.

واژه نامه

- A سطح مقطع آستانه
- b عرض کانال
- C_d ضریب دبی
- G ارتفاع بازشدگی دریاچه
- g شتاب ثقل زمین
- H عمق جریان بالادست در بالادست دریاچه
- H_1 عمق جریان بالادست مبنا از روی آستانه
- P محیط خیس شده آستانه
- Q دبی جریان در کانال
- q دبی در واحد عرض کانال
- R_n عدد رینولدز
- R_s شعاع هیدرولیکی آستانه
- Z ارتفاع آستانه
- ϕ تابع شکل آستانه

نشان می دهند که حضور آستانه زیر دریاچه قائم تأثیر مثبتی روی خصوصیات جریان دارد. بدین معنی که ضریب دبی را افزایش می دهد. هر دوی شکل و ارتفاع آستانه نقش مهمی در افزایش ضریب دبی ایفا می نماید. برای اشکال آزمایش شده چنین نتیجه گیری می شود که آستانه دایره ای مؤثرترین شکل در مقایسه با همه اشکال دیگر بوده و آستانه مثلثی در مقایسه با اشکال آستانه ای چند وجهی مؤثرترین می باشد. معادله ای برای محاسبه ی ضریب دبی جریان برای هر دوی موقعیت های دریاچه ای آستانه ای و غیر آستانه ای بدست آمد. معادله شامل پارامترهای جریان، بازشدگی دریاچه و پارامترهای شکل آستانه می باشد. این معادله ضریب دبی را به درستی پیش بینی می کند و برای دریاچه های آستانه ای دریاچه های معمولی در درون محدوده ای که معادله در آن توسعه یافته است می تواند مورد استفاده قرار گیرد. برای ادامه کار در پژوهش های بعدی پیشنهاد می شود تا محققین بعدی آزمایش های بیشتری انجام دهند تا تعداد داده ها فراتر از ۱۸۰ عدد گردد و ضرایب معادلات همبستگی احیاناً اصلاح و خطاها کاهش یابند. پیشنهاد دیگر این که دریاچه در حالت مستغرق نیز مورد بررسی قرار گیرد. همچنین شبیه سازی عددی توسط نرم افزارهایی مانند FLOW3D و FLUENT می تواند اطلاعات هیدرولیکی مفید

پیوست: داده‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر

Without sill		Sill 5		Sill 10	
(H-Z)/G	Cd	(H-Z)/G	Cd	(H-Z)/G	Cd
2.5	0.535	1.2	0.585	2.8	0.58
3.3	0.548	2.45	0.618	3.2	0.589
3	0.55	2.51	0.627	4.5	0.589
3.9	0.57	3.5	0.63	4.6	0.603
4.5	0.575	3.8	0.652	5.4	0.592
4.7	0.555	4.4	0.67	6	0.604
5.25	0.57	5.3	0.66	7.3	0.62
6.4	0.58	6.1	0.68	7.7	0.615
6.7	0.565	6.3	0.675	8.4	0.61
7.25	0.575	6.3	0.672	11	0.605
8.7	0.59	9	0.69	12	0.607
10	0.6	9.5	0.685	14.8	0.604
11.8	0.6	11.3	0.701	15.7	0.606
12	0.6	13.2	0.701	Sill 11	
15.7	0.61	16.3	0.715	1.5	0.61
17.4	0.612	Sill 6		2.1	0.643
Sill 1		2.2	0.585	2.4	0.64
2.49	0.615	2.49	0.6	3	0.66
3.2	0.643	2.7	0.598	3.35	0.675
3.5	0.65	3.4	0.628	3.6	0.671
3.9	0.653	3.8	0.64	4.3	0.669
4	0.668	4.4	0.638	4.8	0.68
4.9	0.67	5.1	0.651	6.1	0.682
6.3	0.676	5.6	0.655	6.1	0.692
6.8	0.68	6.2	0.67	6.25	0.693
8.8	0.702	8	0.675	9.1	0.703
9.3	0.7	9.1	0.685	9.15	0.69
11.3	0.707	12	0.69	11.5	0.695
12.7	0.71	13.2	0.698	13.4	0.705
17	0.712	17.52	0.699	16.5	0.72
Sill 2		Sill 7		sill 12	
1.8	0.6	1.9	0.62	2	0.585
2.3	0.63	2.3	0.63	2.4	0.605
3.1	0.648	3.2	0.651	2.6	0.597
3.7	0.66	3.3	0.663	3	0.64
3.9	0.67	3.5	0.655	3.5	0.637
4.7	0.68	3.5	0.668	3.6	0.64
3.4	0.68	3.2	0.66	3.7	0.638
5.3	0.7	4	0.661	4.2	0.641
5.9	0.689	4.85	0.675	4.9	0.66
6	0.7	5	0.66	5.1	0.651
6.1	0.694	5.3	0.676	5.4	0.66
8.4	0.708	7.5	0.695	7.4	0.66

پیوست: داده های مورد استفاده در تحقیق حاضر

Sill 2		Sill 7		sill 12	
8.5	0.71	13.5	0.688	8.1	0.665
10.5	0.709	17	0.71	9.5	0.675
12.7	0.7	Sill 8		12.2	0.691
16.3	0.702	3.5	0.602	13.4	0.699
Sill 3		4.2	0.613	17.8	0.7
2	0.659	4.8	0.62		
2.1	0.68	5	0.615		
2.5	0.693	5.5	0.63		
3	0.701	7	0.634		
2.6	0.72	7.3	0.632		
3.5	0.702	7.7	0.631		
4.1	0.715	9.5	0.651		
4.3	0.73	11	0.64		
5.3	0.74	13.8	0.645		
6.3	0.742	Sill 9			
7.2	0.762	2	0.57		
10	0.758	2.5	0.613		
10.7	0.77	2.9	0.603		
14.8	0.77	3.5	0.62		
Sill 4		4	0.623		
2	0.649	4.3	0.633		
2.3	0.67	4.9	0.637		
2.7	0.68	5.5	0.64		
3.3	0.69	7	0.649		
3.5	0.695	7.8	0.645		
4	0.705	10.1	0.655		
4.5	0.707	10.4	0.66		
5.2	0.706	12.5	0.663		
6	0.706	14.5	0.656		
6	0.71	17.7	0.66		
8.3	0.725				
8.5	0.724				
10.6	0.723				
15.2	0.73				

Macmillan Publishing Co. Inc, 1966.

- [4] N. Rajratnam, K. Subramanya, K., Flow equation for the sluice gate, Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE, 93 (4), (1967), 167-186.
- [5] N. Rajratnam, Free flow immediately below sluice gates, Journal of Hydraulics Division, ASCE, 103 (4),

مراجع

- [1] A.A. Alhamid, Coefficient of discharge for free flow sluice gates, J King Saud Univ, 11, (1999) 33-48.
- [2] H. Henry, Discussion of diffusion of submerged jets, Trans. Proc. ASCE. 115 (1950), 687-697.
- [3] F.M. Henderson, Open channel flow, New York,

- [11] A. Barghi Khezerloo, H. Khalili Shayan, J. Farhoudi, A.R. Vatankhah, Developing a new method for estimating discharge coefficient of sluice gates under free and submerged flow conditions, Water and soil science, University of Tabriz, 26 (4.1) (2015) 207-221 (In Persian).
- [12] A.V. Shivapur, M.N. Shesha Prakash, Inclined sluice gate for flow measurement, ISH Journal of Hydraulic Engineering, 11 (1), (2005) 46-56.
- [13] A. Habibzadeh, A.R. Vatankhah, N. Rajaratnam, Role of energy loss on discharge characteristics of sluice gates, Journal of Hydraulic Engineering, 137 (9), (2011) 1079-1084.
- [14] N. Nasehi Oskuyi, F. Salmasi, Vertical sluice gate discharge coefficient, Journal of Civil Engineering and Urbanism, 2 (3), (2012) 108-114.
- [15] N. Rajaratnam, J.A. Humphries, Free flow upstream of vertical sluice gates, Journal of Hydraulic Research, 20 (5), (1982) 427-437.
- (1997), 354-351.
- [6] P.K. Swamee, Sluice gate discharge equation, Journal of Irrigation and Drainage Division. ASCE, 118 (1), (1992) 57-60.
- [7] J. Ohatsu, Y. Yasuda, Characteristics of supercritical flow below sluice gate, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 120 (3), (1994) 332-346.
- [8] A.M. Negm, M. Abdellateef, T. Owais, Effect of under gate sill crest shape on the supercritical free flow characteristics, Proc. AEIC 93 Conference, 18. 21 Dec. 1993. Cairo. pp .230-241.
- [9] M.H. Golmohammadi, M.K. Beyrami, Estimation of discharge for free flow under sluice and radial gates, Water and sewage, 2 (2011) 94-101 (In Persian).
- [10] H. Khalili Shayan, J. Farhoudi, R. Roshan, Estimation of discharge coefficient of flow from sluice and radial gates, Iranian Water Researches Journal, 9, (1.16), (2015) 153-167 (In Persian).

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

F. Salmasi, R. Nourozi Sarkarabad, Investigation of different geometric shapes of sills on the discharge coefficient of a vertical sluice gate, Amirkabir J. Civil Eng., 52(1) (2020) 21-36.

DOI: [10.22060/ceej.2018.14232.5596](https://doi.org/10.22060/ceej.2018.14232.5596)

