

Discharge Coefficient of Elliptical Lopac Gate with Gradual Transition in Submergence Condition

Mahmood Shafai Bejestan¹, Mehdi Zeinivand^{2*} and Mohsen Tahmasbi Pour³

1- Prof. of Hydraulic Structures, Faculty of Water & Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Assist. Prof. of Hydraulic Structures, Faculty of Water & Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3- Graduated M.Sc. Student, Faculty of Water & Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* M.Zeinivand@Scu.ac.ir

Received: 4 April 2020, Accepted: 31 May 2020  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: The discharge coefficient (C_d) of irrigation gates is one of the important parameters for predicting the flow discharge through these structures. This parameter depends on the geometrical conditions of the gate as well as the upstream and downstream flow conditions. During the past decades attempts have been done to develop relations for different types of gates. Most of such studies have been carried out by researchers in the laboratory and therefore various types of relationships have been proposed. In the present study, the C_d value of the elliptical lopac gate with a gradual transition upstream was examined. Rectangular lopac gate was invented in the 1980s by Peter Langman et al. to measure and manage water level fluctuations in irrigation canals and their successful applications have been reported in several projects (Gomez et al., 2002). This structure acts as a lopac lid that can adjust the flow of water upstream of the surface by adjusting the flow direction (Neisi et al., 2019). This structure acts like a gate that can also be adjusted the flow through the upstream surface by installing it in the flow direction (Neisi et al., 2019). Different equations for the coefficient of discharge of rectangular lopac gate with and without upstream transition have been extracted by different researchers. For the elliptical lopac gate without upstream conversion, Pilbala et al. (2018), Pilbala (2018) and Neisi et al. (2018) have reported extensive laboratory study to presented the required expressions for determination of C_d . In a wide channel, for better performance and saving the cost of operation, it is advise to install narrower gate. Therefore, a gradually transition at the upstream of the gate is usually designed and installed to help passing of the flow smoothly. By the knowledge of the authors, the effect of such structures on C_d have not been studied yet and thus the main goal of this research is to conducted experimental tests to provide required data.

Methodology: In this study first, using the Buckingham theory the effective non-dimensional parameters were extracted (Eq. 4) and the experimental program was carried out accordingly. Experiments were conducted on a flume with a length of 800 cm, a height of 80 cm and width of 60 cm. At the beginning of the flume, a rock filled basket was installed to calm the flow which enters the flume. Four meters away from the basket, the elliptical lopac gate models made of galvanized iron with a thickness of 2 mm, width and height of 40 cm and a radius of

5 cm were installed. The gate was connected to the flume wall at a distance of 15 cm from the wall of the flume by a sudden conversion of the PVC sheet. Then, using this type of sheet, gradual transition was made and installed.

Results and discussion: In this study total of 108 experiments including 27 experiments with no presence of gradual transition and 81 experiments with three different models of gradual upstream transition were performed at three different angles (Table 1). For each experiment, the discharge coefficient was calculated from Eq. 5 and the trend of discharge coefficient variation was studied by changing the dimensionless parameters obtained in dimensional analysis including upstream gradient angle, relative gate opening rate as well as the submergence. At the end data were analyzed and presented in form of graphically or expression.

Conclusion: In general, the results show that the coefficient of discharge increases with the increase in the gate's opening ratio. From the data analysis it was found that with the relative increase of the gate opening from 0.41 to 0.49, the discharge coefficient increased from 39.4% up to 77.7%. It was also found that increasing the rate of submergence decreases the discharge coefficient. This trend was studied by decreasing the percentage of submergence from the maximum increase of discharge coefficient and it was observed that with decrease of submergence from 0.9 to 0.7, the discharge coefficient increased between 89.6 to 58.7%. Another considered parameter was the gradual upward angle of the gate upstream. The lowest coefficient of discharge obtained for the case of no transition upstream or sudden transition with angle of 90 degree. The elliptic lopac gate discharge coefficient with the gradual transition of 22.5 degree was 37% higher than that of the sudden transition. SPSS version 25 software was applied to developed expression for predicting Cd (Eq. 9). This relation was extracted using 80% of obtained experimental data and the remaining 20% of the data was applied to validated the relation. Comparing the predicted values of Cd and the experimental data show high accuracy of this relationship.

key words: Hydraulic Structures, Discharge Measurements, Canals, Irrigation.



© 2020 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی همراه با تبدیل تدریجی در شرایط مستغرق

محمود شفاعی بجستان^۱، مهدی زینی‌وند^{۲*}، محسن طهماسبی پور^۳

- ۱- استاد گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۲- استادیار گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۳- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

* M.Zeinivand@Scu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۱۶، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۱، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: دریاچه‌های سالونی یکی از سازه‌های تنظیم دبی می‌باشد که با قرارگیری در آبراهه انسداد ناگهانی ایجاد می‌کنند و برای عملکرد بهتر نیازمند استفاده از تبدیل تدریجی در بالادست خود هستند. در این بررسی تاثیر قرارگیری تبدیل تدریجی با زاویه‌های مختلف بر ضریب دبی در شرایط مختلف جریان و در میزان‌های مختلف فرو رفتن در آب و بازشدگی دریاچه سالونی بیضوی، به طور آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که با قرارگیری تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی، ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زاویه تبدیل تدریجی، ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد و این روند برای همه میزان‌های استغراق‌ها و بازشدگی دریاچه مشاهده شد. همچنین رابطه‌ای برای تعیین دبی دریاچه سالونی بیضوی با استفاده از رابطه‌های ضریب دبی استخراج شده بدست آمد که پس از بررسی، مشاهده شد که دقت بسیار بالایی دارد. بنابر نتایج بیشینه میزان افزایش ضریب دبی با قرارگیری تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی ۳۶/۹ درصد است.

کلید واژگان: سازه‌های آبی، اندازه‌گیری دبی، آبراهه، آبیاری.

۱- مقدمه

است (Langeman et al 2006). این سازه شبیه دریاچه سالونی عمل می‌کند که در یک آبراهه نصب می‌شود. این دریاچه می‌تواند با بازشدگی‌های مختلف در دبی‌های مختلف سودمند واقع شود (Oad and Kinzli, 2006). سازه‌های جدید مورد نیاز برای اندازه‌گیری و تحویل آب در شبکه‌های آبیاری به روش‌های نوین استفاده می‌شوند (Naghaei and Monem, 2013). شرکت آکوا سیستم^۱ به منظور ارائه یک راه حل انعطاف‌پذیر و اقتصادی، برای اندازه‌گیری جریان در آبراهه‌های کوچک و متوسط، مدل ساده دریاچه سالونی مستطیلی را با یک سامانه محرک خودکار ترکیب کرد. این دریاچه می‌تواند به سه حالت باز کامل، نیمه باز و بسته کامل بهره‌برداری شود (Naghaei and Monem, 2013). محققین

امروزه درصد بسیار زیادی از حجم آب شیرین در شبکه‌های آبیاری و زهکشی در راستای نیازهای کشاورزی مصرف می‌شود، لذا استفاده از ابزار اندازه‌گیری و تنظیم دبی دارای اهمیت ویژه‌ای است. عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری و زهکشی و تأثیر آن در کاهش بهره‌وری آب شیرین، ضرورت ارائه روش‌های مؤثر در بهره‌برداری مناسب از شبکه‌های آبیاری را موجب می‌شود (Gomez et al, 2002). دریاچه سالونی در دهه‌ی ۱۹۸۰ توسط پیتر لانگمن و همکاران، برای مدیریت جریان عبوری در آبراهه‌های آبیاری ابداع شد و کاربردهای موفقیت‌آمیز آن در چند پروژه گزارش شده

¹ Aqua System 2000

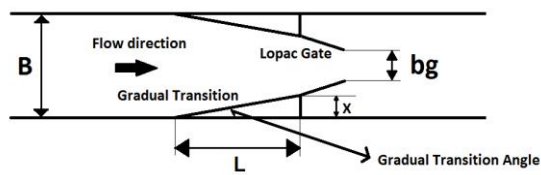


Fig. 1 Schematic of the model study plan and the parameters studied

شکل ۱ نمای کلی طرح و نقشه مدل مورد بررسی و واسنجه‌های موثر



Fig. 2 Schematic cross section of the model and the parameters studied

شکل ۲ نمای کلی مقطع مدل مورد بررسی و فراسنجه‌های موثر

در شکل ۲ نیز مقطع مدل مورد استفاده نشان داده شده است. با استفاده از روش و فن بی‌بعدسازی به روش پی‌باکینگهام، مرحله‌های زیر انجام شد.

$$f_1(Y_1, Y_2, L, X, B, b_g, C_d, \rho, g, \mu) = 0 \quad (1)$$

که در این رابطه C_d ضریب دبی عبوری از روی دریاچه سالونی بیضوی است. با انتخاب متغیرهای Y_1 و g, ρ به عنوان متغیرهای تکراری اعداد بی‌بعد استخراج شد و رابطه ۲ به دست آمد.

$$f_2\left(\frac{Y_2}{Y_1}, \frac{b_g}{Y_1}, \frac{B}{Y_1}, R_n, \frac{L}{Y_1}, \frac{X}{Y_1}, C_d\right) = 0 \quad (2)$$

با توجه به اینکه جریان در مجاری روباز عموماً آشفته است و در این تحقیق نیز پس از اندازه‌گیری عدد رینولدز، مشاهده شد که جریان از نوع آشفته است، لذا از عدد رینولدز صرف‌نظر شد. در ادامه با ترکیب اعداد بدون بعد در نهایت رابطه ۳ استخراج شد.

$$f_3\left(C_d, \frac{Y_2}{Y_1}, \frac{b_g}{B}, \frac{X}{L}\right) = 0 \quad (3)$$

نسبت $\frac{Y_2}{Y_1}$ همانگونه که پیشتر بیان شد برابر استغراق است که با S نشان داده می‌شود. لذا در نهایت می‌توان نوشت:

$$C_d = f_4\left(S, \frac{b_g}{B}, \frac{X}{L}\right) \quad (4)$$

همانگونه که ملاحظه می‌شود به‌جای استفاده از زاویه تبدیل در تجزیه و تحلیل ابعادی از نسبت $\frac{X}{L}$ استفاده شده است که با در نظر گرفتن شکل ۱، این نسبت برابر آرک

تلاش‌هایی برای شناخت و بررسی بیشتر این سازه انجام دادند. (2015) Yousofvand and Kavianpour در بررسی‌هایی به بررسی شرایط عبور جریان از دریاچه‌های مستطیلی سالونی در شرایط جریان خروجی آزاد پرداختند و توصیه کردند که برای افزایش عملکرد دریاچه، در بالادست آن تبدیل احداث شود. (2015) Yousofvand et al. به ارزیابی و تحلیل ضریب دبی دریاچه سالونی مستطیلی در شرایط جریان مستغرق پرداختند و رابطه‌هایی برای تعیین ضریب دبی به کمک داده‌های آزمایشگاهی ارائه کردند. (2018) Yousofvand et al. به بررسی آزمایشگاهی تاثیر استغراق و تاثیر تبدیل ورودی بر عملکرد دریاچه سالونی و رابطه‌هایی برای ضریب دبی در شرایط جریان آزاد ارائه کردند. دریاچه‌های سالونی بیضوی در آغاز توسط Pilbala (2019) و (2019) Pilbala et al. در شرایط جریان مستغرق با انسداد ناگهانی بررسی و تشخیص داده شد که در مقایسه با دریاچه‌های سالونی مستطیلی عملکرد بهتری دارند. آنان رابطه‌هایی هم برای پیش‌بینی ضریب دبی و میزان استهلاک انرژی برای این نوع دریاچه‌ها ارائه کردند. (2018) Neisi et al. و (2019) Neisi and Sajadi در بررسی‌های خود به بررسی آزمایشگاهی شرایط هیدرولیک جریان عبوری از دریاچه سالونی بیضوی در شرایط جریان آزاد پرداختند و رابطه‌هایی ارائه کردند. نظر به اینکه تاکنون هیچ تحقیق جامعی در زمینه بررسی تاثیر تبدیل تدریجی بر ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی در شرایط مستغرق انجام نشده بود، لذا در این تحقیق، تاثیر تبدیل تدریجی بر ضریب دبی عبوری از دریاچه سالونی بیضوی در شرایط مستغرق بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجزیه و تحلیل ابعادی

برای بیان واسنجه‌های موثر در تحلیل ابعادی از نماهای کلی شکل‌های ۱ و ۲ استفاده می‌شود. همانگونه در شکل‌های ۱ و ۲ مشاهده می‌شود، این واسنجه‌ها شامل عمق جریان در بالادست (Y_1)، عمق جریان در پایین دست (Y_2)، زاویه تبدیل تدریجی (α)، میزان باز شدگی دریاچه سالونی (b_g)، عرض فلوم (B)، عرض فرو رفتگی (X) و فاصله طولی محل آغاز تبدیل از دریاچه (L) هستند.

چمران اهواز در فلومی با طول ۱۰ متر و عرض و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر صورت گرفت. در ابتدای فلوم یک سبد پوکه معدنی برای آرام کردن جریان نصب شد. در فاصله چهار متری از سبد، مدل دريچه بيضوی که از جنس آهن گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر ساخته شده بود، نصب شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده توسط Cox et.al. (2014) عرض و ارتفاع دريچه به اندازه ۴۰ سانتی‌متر و شعاع دريچه ۳۵ سانتی‌متر انتخاب و طراحی و ساخته و نصب شد. این دريچه به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از بدنه فلوم با یک تبدیل ناگهانی از جنس ورق PVC به بدنه فلوم اتصال می‌یافت. آنگاه با استفاده از همین نوع ورق، تبدیل تدریجی برابر شکل ۴ ساخته و نصب شد. در شکل ۳ نمایی از فلوم آزمایشگاهی و محل قرارگیری دريچه سالونی بیضوی مشاهده می‌شود.



Fig. 4 Gradual conversion installed in the flume

شکل ۴ تبدیل تدریجی نصب شده در فلوم

تانژانت زاویه تبدیل است که با توجه به شرایط آزمایشگاهی مدل‌ها، معادل آنها در این تحقیق برای زاویه‌های ۱۲/۵، ۱۷/۵ و ۲۲/۵ درجه، به ترتیب برابر ۰/۲۲۲، ۰/۳۱۵ و ۰/۴۱۴ است.

Pilbala (2019) برای به دست آوردن ضریب دبی عبوری از دريچه بیضوی، با استفاده از شکل ۲ و نوشتن رابطه انرژی بین مقطع‌های ۱ و ۲ به شرح زیر اقدام کرد:

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \quad (5)$$

که میزان افت از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_f = C \left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} \right) \quad (6)$$

سپس با لحاظ کردن رابطه پیوستگی جریان بین مقطع‌های ۱ و ۲ و ترکیب رابطه‌های به دست آمده، ضریب دبی به شرح زیر استخراج شد.

$$C_d = \frac{Q_a}{BY_1^{3/2} \sqrt{\frac{s-1}{1-s^2}}} \quad (7)$$

در رابطه ۷، Q_a دبی عبوری از دريچه است که در آزمایش‌ها مقدار آن توسط سرریز مستطیلی لبه تیز واقع در پایین دست فلوم اندازه‌گیری می‌شود و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

۲-۲- تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید

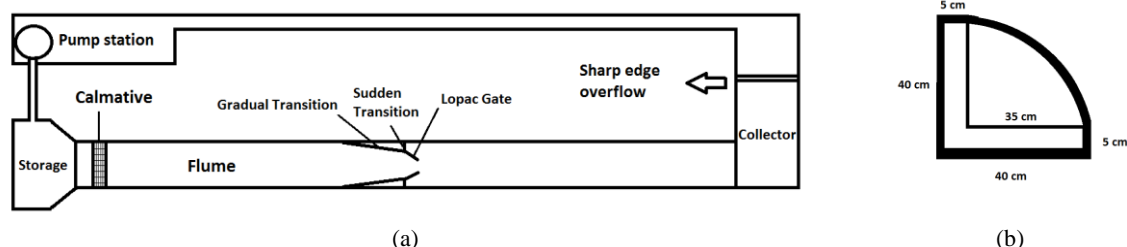


Fig. 3 (a) Schematic of laboratory flume used and location of gate and transition , (b) Lopac Gate cross section used

شکل ۳ نمای کلی فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده و محل قرارگیری دريچه و تبدیل (a) به همراه مقطع دريچه‌ی مورد استفاده (b)

عمق جریان در بالادست و پایین دست دريچه اندازه‌گیری می‌شد. برای ایجاد استغراق مورد نیاز از دريچه نصب شده در انتهای فلوم استفاده شد و با تنظیم عمق جریان در بالادست و پایین دست دريچه سالونی بیضوی، استغراق مورد

برای اندازه‌گیری دبی جریان عبوری از فلوم و دريچه سالونی بیضوی، از سرریز مستطیلی لبه تیز نصب شده در انتهای قسمت جمع‌کننده استفاده شد. برای اندازه‌گیری عمق جریان از عمق سنج با دقت یک میلی‌متر استفاده شد و

نظر ایجاد می‌شد.

جدول ۱ دامنه تغییرپذیرهای فراسنجه‌های به‌کار رفته در این

تحقیق

Table 1 Domain of changes the parameters used in the present study

Parameter	Domain of change
$\frac{X}{L}$ Ratio (Indicates the gradual conversion angle)	0, 0.222, 0.315 and 0.414
Discharge (Lit/sec)	25, 35 and 45
Submergence	0.7, 0.8 and 0.9
$\frac{bg}{B}$ Ratio (Relative opening of the Gate)	0.41, 0.45 and 0.49

در این تحقیق ۱۰۸ آزمایش انجام شد که شمار ۲۷ آزمایش بدون حضور تبدیل تدریجی، در ۳ دبی، ۳ استغراق و ۳ میزان بازشدگی نسبی، برابر جدول شماره ۱ انجام شد. همچنین شمار ۸۱ آزمایش با حضور سه مدل مختلف تبدیل تدریجی بالادست در زاویه‌های قرارگیری متفاوت، در ۳ دبی، ۳ استغراق و ۳ میزان بازشدگی نسبی، مطابق جدول شماره ۱، انجام شد. در نهایت برای هر آزمایش ضریب دبی با استفاده از رابطه ۷ محاسبه شد. جدول ۱ بیانگر دامنه تغییرات فراسنجه‌های مورد استفاده در این تحقیق است که پیشتر با تجزیه و تحلیل ابعادی به‌دست آمده بودند.

۳- نتایج و بحث

در این بخش در آغاز بعنوان نمونه نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های این تحقیق در میزان بازشدگی نسبی ۰/۴۵ و استغراق ۰/۸ در جدول ۲ نشان داده شده است. ضریب دبی یا ستون ۶ این جدول از رابطه ۵ محاسبه شده است. بدین ترتیب که برای هر آزمایش میزان‌های مختلف دبی، حد استغراق، عمق بالادست و پایین دست و میزان عرض آبراهه اندازه‌گیری شده در هر آزمایش را در رابطه ۷ قرار داده و مقدار C_d به‌دست آمد که نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

شیوه انجام آزمایش‌ها بدین صورت بود که در آغاز با توجه به برنامه آزمایش‌ها، تبدیل تدریجی بالادست به همراه صفحه دریچه‌های بیضوی با میزان بازشدگی مورد نظر در فلوم قرار می‌گرفت و با استفاده از چسب آکواریوم آب‌بندی می‌شد. سپس با روشن کردن سامانه پمپاژ آزمایشگاهی و باز کردن شیر ابتدای فلوم و استفاده از سرریز لبه تیز انتهای محل جمع‌کننده، دبی مورد نظر در فلوم تنظیم می‌شد. برای ایجاد استغراق مورد نظر، از دریچه انتهای فلوم استفاده شد و آنگاه عمق جریان در بالادست و پایین‌دست دریچه اندازه‌گیری می‌شد.

جدول ۲ نتایج به‌دست آمده از این تحقیق در میزان بازشدگی نسبی ۰/۴۵ و استغراق ۰/۸

Table 2 The results of this study in the relative opening of 0.41 and 0.8 submergence

Test number	X/L (Transition angle)	bg/B	S	Q_a (Lit/Sec)	C_d
1	0.0 (Without gradual transition)	0.45	0.8	25	0.43
2	0.222	0.45	0.8	25	0.49
3	0.315	0.45	0.8	25	0.50
4	0.414	0.45	0.8	25	0.59
5	0.0 (Without gradual transition)	0.45	0.8	35	0.46
6	0.222	0.45	0.8	35	0.51
7	0.315	0.45	0.8	35	0.52
8	0.414	0.45	0.8	35	0.61
9	0.0 (Without gradual transition)	0.45	0.8	45	0.51
10	0.222	0.45	0.8	45	0.53
11	0.315	0.45	0.8	45	0.55
12	0.414	0.45	0.8	45	0.63

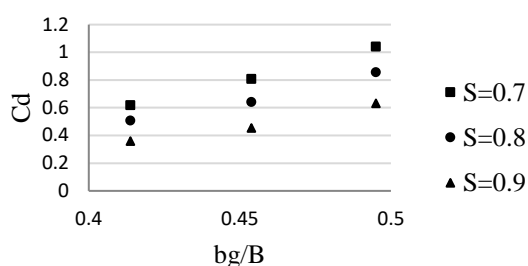


Fig. 5 Discharge coefficient against relative opening of the LOPAC Gate at $X/L=0.222$

شکل ۵ روند تغییر ضریب دبی با تغییر بازشدگی نسبی دریچه سالونی در زاویه تبدیل بالادست ۱۲/۵ درجه

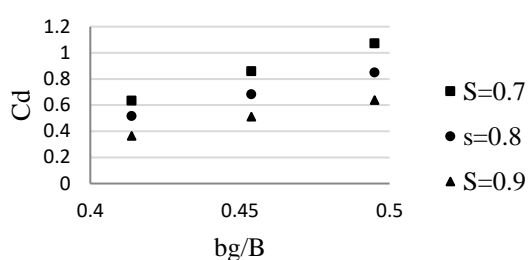


Fig. 6 Discharge coefficient against relative opening of the LOPAC Gate at $X/L=0.315$

شکل ۶ روند تغییر ضریب دبی با تغییر بازشدگی نسبی دریچه سالونی در زاویه تبدیل بالادست ۱۷/۵ درجه

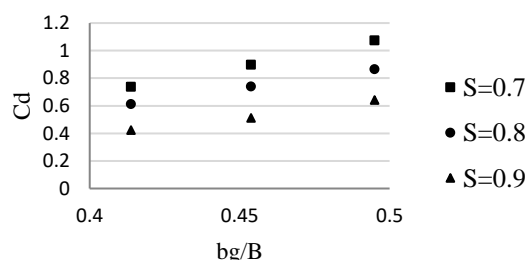


Fig. 7 Discharge coefficient against relative opening of the LOPAC Gate at $X/L=0.414$

شکل ۷ روند تغییر ضریب دبی با تغییر بازشدگی نسبی دریچه سالونی در زاویه تبدیل بالادست ۲۲/۵ درجه

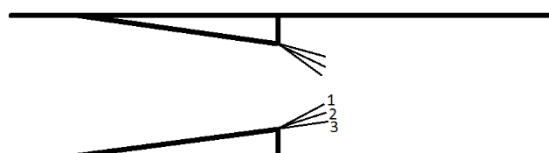


Fig. 8 Schematic of the process of changing the opening of the elliptic LOPAC Gate

شکل ۸ شماتیک روند تغییر میزان بازشدگی دریچه سالونی بیضوی

سپس در ادامه به بررسی روند تغییر ضریب دبی با تغییر پارامترهای بدون بعد بدست آمده در بخش آنالیز ابعادی پرداخته می‌شود.

۳-۱- روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی دریچه سالونی بیضوی

پس از محاسبه ضریب‌های دبی در هر آزمایش، به بررسی روند تغییر این واسنجه با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریچه سالونی بیضوی پرداخته شد. با توجه به تجزیه و تحلیل ابعادی انجام شده، واسنجه مورد نیاز برای بررسی میزان بازشدگی نسبی دریچه سالونی بیضوی، نسبت $\frac{bg}{B}$ است که در این نسبت bg میزان بازشدگی دریچه و B عرض فلوم است. لذا روند تغییر ضریب دبی با تغییر نسبت $\frac{bg}{B}$ در زاویه‌های تبدیل تدریجی مختلف و در استغراق‌های مختلف و دبی‌های مختلف به دست آمد. لازم به یادآوری است که در این تحقیق، با توجه به محدودیت‌های ناشی از عرض فلوم آزمایشگاهی، سه میزان bg در بازه ۳۲/۸ تا ۳۹/۲ سانتی متر مورد آزمایش قرار گرفت و با توجه به عرض فلوم (B) برابر ۸۰ سانتی متر، نسبت $\frac{bg}{B}$ در محدوده‌ی ۰/۴۱ تا ۰/۴۹ قرار گرفت. در شکل‌های ۵ الی ۷ به‌عنوان نمونه روند تغییر ضریب دبی با میزان بازشدگی نسبی در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه مشاهده می‌شوند.

نتایج به دست آمده از شکل‌های ۵ الی ۷ نشان داد با افزایش میزان بازشدگی دریچه سالونی بیضوی و در پی آن افزایش نسبت $\frac{bg}{B}$ ، ضریب دبی افزایش می‌یابد. این روند برای دیگر دبی‌ها نیز استخراج و مشاهده شد که در دیگر دبی‌های مورد بررسی، روند مشاهده شده اخیر نیز به دست آمد. در ادامه برای بررسی کمی میزان‌ها و داده‌های آزمایشگاهی و نتایج به دست آمده، مشاهده شد که با افزایش بازشدگی نسبی دریچه از ۰/۴۱ تا ۰/۴۹ بیشینه به میزان ۷۷/۷۴ و کمینه ۳۹/۴ درصد به ضریب دبی دریچه سالونی بیضوی با حضور تبدیل تدریجی در بالادست اضافه شد.

برای بررسی علل رخ دادن این روند از شکل ۸ استفاده می‌شود. روند انجام شده در این تحقیق بدین گونه بود که برابر شکل ۸ وضعیت دریچه از موقعیت شماره ۱ به موقعیت شماره ۲ و سپس موقعیت شماره ۳ تغییر یافت. لذا همان گونه که

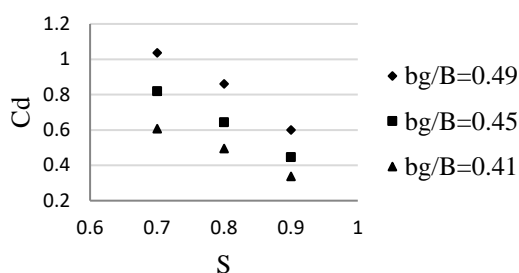


Fig. 9 Discharge coefficient against submergence at $X/L=0.222$

شکل ۹ روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان استغراق در زاویه تبدیل تدریجی ۱۲/۵ درجه

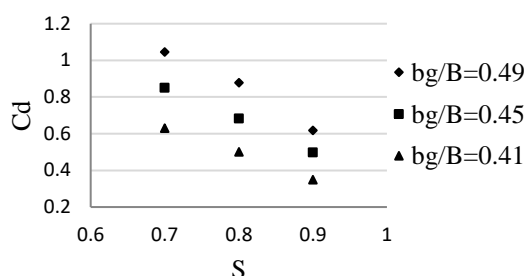


Fig. 10 Discharge coefficient against submergence at $X/L=0.315$

شکل ۱۰ روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان استغراق در زاویه تبدیل تدریجی ۱۷/۵ درجه

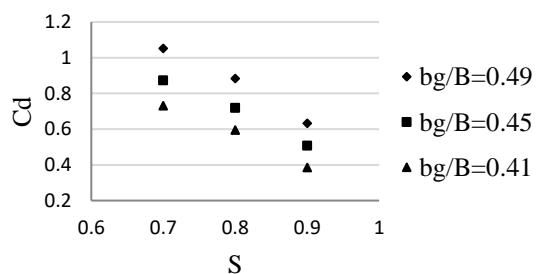


Fig. 11 Discharge coefficient against submergence at $X/L=0.414$

شکل ۱۱ روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان استغراق در زاویه تبدیل تدریجی ۲۲/۵ درجه



Fig. 12 Schematic of change of submergence at elliptic LOPAC gate

شکل ۱۲ نمای کلی تغییر استغراق دریاچه سالونی بیضوی

مشاهده شد با این روند تغییر، میزان بازشدگی دریاچه افزایش می‌یابد. این افزایش میزان بازشدگی و در پی آن افزایش سطح مقطع عبوری جریان، باعث افزایش ضریب دبی شد. لازم به یادآوری است برای بررسی نتایج این بخش از بررسی با نتایج دیگر محققان، می‌توان به نتایج تحقیق انجام شده توسط Pilbala (2019) اشاره کرد که در این تحقیق نیز با افزایش میزان بازشدگی دریاچه، ضریب دبی افزایش یافت.

۲-۳- روند تغییر ضریب دبی با تغییر استغراق

آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق در شرایط مستغرق انجام شد. بنابراین روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان استغراق نیز بررسی شد. برابر جدول ۱ سه میزان استغراق ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ استفاده شد. علت انتخاب میزان‌های یاد شده این بود که در استغراق‌های پایین نوسان سطح آب بسیار زیاد بود و اندازه‌گیری تراز سطح آب با دقت لازم انجام نمی‌شد. لذا برای جلوگیری از ورود خطا به نتایج آزمایشگاهی، میزان‌های یاد شده برای استغراق آزمایش‌ها انتخاب شد. در ادامه روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان استغراق محاسبه شد. نمونه‌ای از نتایج به‌دست آمده حاصل از آزمایش‌های انجام شده در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه در شکل‌های ۹ الی ۱۱ مشاهده می‌شوند.

نتایج به‌دست آمده از شکل‌های ۹ الی ۱۱ نشان می‌دهد با افزایش میزان استغراق، ضریب دبی کاهش پیدا می‌کند. در ادامه نتایج به‌دست آمده از بررسی تغییر ضریب دبی در دبی‌های ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه نیز بررسی شد و نتایج نشان داده، همانند روند مشاهده شده در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه نشان داد. در ادامه برای استخراج نتایج کمی بررسی ضریب دبی با تغییر استغراق، به بررسی بیشینه افزایش ضریب دبی پرداخته شد و مشاهده شد که با کاهش استغراق از ۰/۹ به ۰/۷ ضریب دبی بیشینه به میزان ۸۹/۶ و کمینه ۵۸/۷ درصد افزایش می‌یابد. در این مرحله نیز برای بررسی علل رخداد چنین روندی، از شکل شماره ۱۲ استفاده می‌شود.

با افزایش استغراق، برابر شکل شماره ۱۲ وضعیت تراز سطح آب از موقعیت شماره ۱ به سمت موقعیت شماره ۲ و سپس شماره ۳ تغییر خواهد کرد. این روند باعث نزدیک شدن تراز

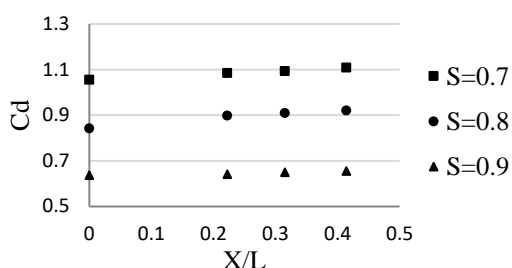


Fig. 13 Discharge coefficient against X/L at $b_g/B=0.495$

شکل ۱۳ روند تغییر ضریب دبی با افزایش زاویه تبدیل تدریجی بالادست در بازشدگی نسبی دریچه ۰/۴۹۵

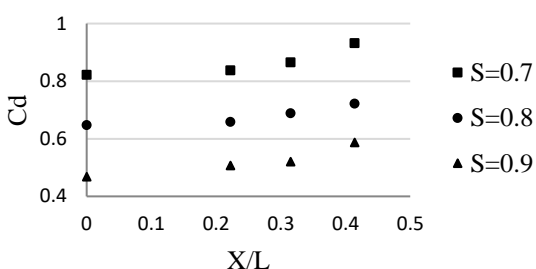


Fig. 14 Discharge coefficient against X/L at $b_g/B=0.454$

شکل ۱۴ روند تغییر ضریب دبی با افزایش زاویه تبدیل تدریجی بالادست در بازشدگی نسبی دریچه ۰/۴۵۴

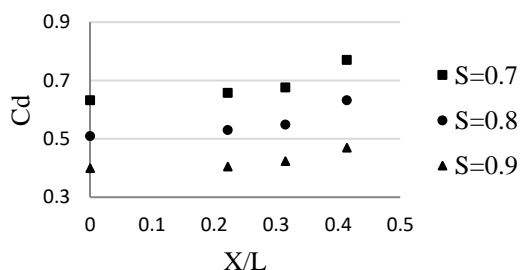


Fig. 15 Discharge coefficient against X/L at $b_g/B=0.414$

شکل ۱۵ روند تغییر ضریب دبی با افزایش زاویه تبدیل تدریجی بالادست در بازشدگی نسبی دریچه ۰/۴۱۴

برای بررسی کمی داده ها و نتایج به دست آمده، به بررسی درصد افزایش ضریب دبی با نصب تبدیل تدریجی، نسبت به حالت بدون تبدیل تدریجی (آزمایش‌های شاهد) پرداخته شد. برای محاسبه درصد افزایش ضریب دبی از رابطه ۸ استفاده شد. در این رابطه به مقایسه ضریب‌های دبی در زاویه تبدیل تدریجی بالادست ۲۲/۵ درجه (نسبت $\frac{X}{L}$ برابر ۰/۴۱۴) با ضریب دبی در آزمایش‌های شاهد (نسبت $\frac{X}{L}$ برابر

سطح آب بالادست و پایین دست خواهد شد. با نزدیکی سطوح آب بالادست و پایین دست، قابلیت لازم برای عبور جریان کاهش می‌یابد و در نتیجه ضریب دبی کاهش خواهد یافت. نتایج این بخش از این تحقیق نیز همخوانی کامل با نتایج Pilbala et al. (2018) دارد.

۳-۳- بررسی روند تغییر ضریب دبی با تغییر زاویه تبدیل تدریجی بالادست دریچه سالونی بیضوی

در مرحله اول بررسی، به مقایسه نتایج آزمایش‌های انجام شده با حضور تبدیل تدریجی و مقایسه نتایج آنها با آزمایش‌های شاهد (آزمایش‌های بدون حضور تبدیل تدریجی) پرداخته شد. این بررسی‌ها نشان داد با ایجاد و قرارگیری و نصب تبدیل تدریجی در بالادست دریچه سالونی بیضوی در شرایط مستغرق، ضریب دبی افزایش می‌یابد.

در ادامه به بررسی روند تغییر ضریب دبی با افزایش زاویه تبدیل تدریجی در بالادست دریچه سالونی بیضوی پرداخته شد. بدین منظور در دبی‌های مختلف و بازشدگی‌های نسبی مختلف، روند تغییر ضریب دبی با تغییر زاویه تبدیل تدریجی بالاست استخراج شد. در شکل‌های ۱۳ الی ۱۵ روند تغییر ضریب دبی با افزایش زاویه تبدیل تدریجی بالادست دریچه سالونی بیضوی، به‌عنوان نمونه برای دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی‌های نسبی ۰/۴۹۵ و ۰/۴۵۴ و ۰/۴۱۴ مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که در این بررسی و شکل‌های ۱۳ الی ۱۵ مشاهده می‌شود، با افزایش زاویه تبدیل تدریجی، ضریب دبی افزایش خواهد یافت و این روند در هر سه شکل مشاهده شد. در ادامه این بررسی برای دبی‌های دیگر نیز انجام شد و نتایج همانندی به دست آمد. لازم به یادآوری است در شکل‌های ۱۳ الی ۱۵ نسبت $\frac{X}{L}$ برابر صفر، بیانگر آزمایش‌های شاهد (آزمایش‌های بدون حضور تبدیل تدریجی و با حضور تبدیل ناگهانی ۹۰ درجه) است و همان‌گونه نتایج بررسی نشان می‌دهند، در تمامی این شکل‌ها، ضریب دبی در آزمایش‌های شاهد، کمتر از ضریب دبی در آزمایش‌های با حضور تبدیل تدریجی در بالادست است.

صفر) پرداخته شد.

$$\% R = \frac{Cd_{x=0.414} - Cd_{x=0}}{Cd_{x=0}} \times 100 \quad (8)$$

نتایج این بررسی نشان داد که بیشترین درصد افزایش ضریب دبی ۳۶/۹ درصد است که در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی نسبی ۰/۴۱۴ در استغراق ۰/۸ مشاهده شد. برای بررسی علت رخ دادن این روند از شکل زیر استفاده می شود. در این شکل روند افزایش زاویه تبدیل تدریجی نشان داده می شود. با افزایش زاویه تبدیل تدریجی، شیوه نصب تبدیل تدریجی در بالادست از وضعیت ۱ یا موقعیت ۱ به سمت موقعیت ۲ و سپس موقعیت ۳ تغییر می کند. حال می توان با استفاده از شکل ۱۶ به دلایل رخ دادن روند تغییر ضریب دبی با افزایش زاویه تبدیل تدریجی پرداخت.

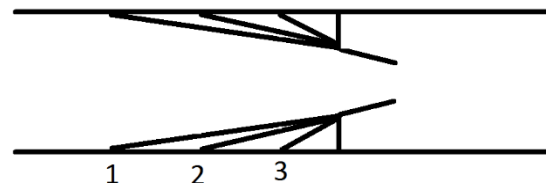


Fig. 16 Schematic of the process of changing the angle of gradual transition upstream of the elliptic LOPAC gate

شکل ۱۶ روند تغییر زاویه تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی

همان گونه که در شکل ۱۶ مشاهده می شود با افزایش زاویه تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی، شکل ترکیبی مجموعه تبدیل در بالادست و دریاچه در پایین دست به حالتی همانند به دیواره هدایت کننده نزدیک می شود و ضریب دبی را افزایش خواهد داد.

۳-۴- استخراج معادله ها

پس از مشاهده و بررسی نتایج آزمایشگاهی، با استفاده از نرم افزار SPSS 25 به استخراج رابطه بین ضریب دبی و فراسنجه های بدون بعد مرتبط با ضریب دبی پرداخته شد. این فراسنجه ها در مرحله تجزیه و تحلیل ابعادی ایجاد شدند و در بخش نتایج و بحث، روند تغییر ضریب دبی با تغییر هر کدام از آنها مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در این مرحله در آغاز از ۸۰ درصد داده ها برای استخراج رابطه

بین ضریب دبی و فراسنجه های بدون بعد استفاده شد و از ۲۰ درصد دیگر، برای صحت سنجی رابطه استخراج شده و محاسبه فراسنجه های مربوط به آن استفاده شد. نتایج به دست آمده از استخراج رابطه، نشان داد که رابطه ۹ بین ضریب دبی و فراسنجه های بدون بعد مرتبط با آن وجود دارد.

$$C_d = 4.37 \times S^{-1.98} \times \left(\frac{X}{L}\right)^{-0.095} \times \left(\frac{bg}{B}\right)^{2.79} \quad (9)$$

$$R^2 = 0.97$$

پس از استخراج رابطه ۹ و تعیین رابطه بین ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی و فراسنجه های بدون بعد موثر، با استفاده از ۲۰ درصد دیگر داده ها به صحت سنجی رابطه استخراج شده پرداخته و نتایج در جدول ۳ مشاهده می شود.

جدول ۳ نتایج به دست آمده از صحت سنجی رابطه بین ضریب

دبی و پارامترهای بدون بعد مرتبط

Table 3 Results from the validation of the relationship between Discharge coefficient and related dimensionless parameters

MAD	MSE	RMSE	MAPE
0.007787	0.000428	0.020692	0.014882

با توجه به پایین بودن مقدار عددی RMSE و MAPE و همچنین نزدیک بودن فراسنجه R^2 به عدد یک، می توان بیان کرد که رابطه شماره ۹ با در نظر گرفتن محدودیت های آزمایشگاهی و بازه ی فراسنجه ها در جدول شماره ۱، دارای دقت بسیار بالایی می باشد. در ادامه برای بررسی مقایسه بین میزان های به دست آمده و میزان های محاسبه شده توسط رابطه ۹ شکل ۱۷ تهیه شد. در این شکل محور عمودی ضرایب دبی به دست آمده در آزمایشگاه است و محور افقی نیز ضرایب دبی به دست آمده از رابطه ۹ هستند. دو خط رسم شده مربوط به انحراف $\pm 0.15\%$ درصد داده ها است. همان گونه که مشاهده می شود به تقریب همه ی داده های محاسبه شده در مقابل داده های اندازه گیری شده، در بازه ۰/۱۵ درصد خطا قرار دارند.

بنابراین با در اختیار بودن رابطه ۹ و فراسنجه های استغراق و زاویه تبدیل تدریجی بالادست دریاچه سالونی بیضوی (تا با استفاده از آن بتوان نسبت $\frac{X}{L}$ را بدست آورد) و همچنین

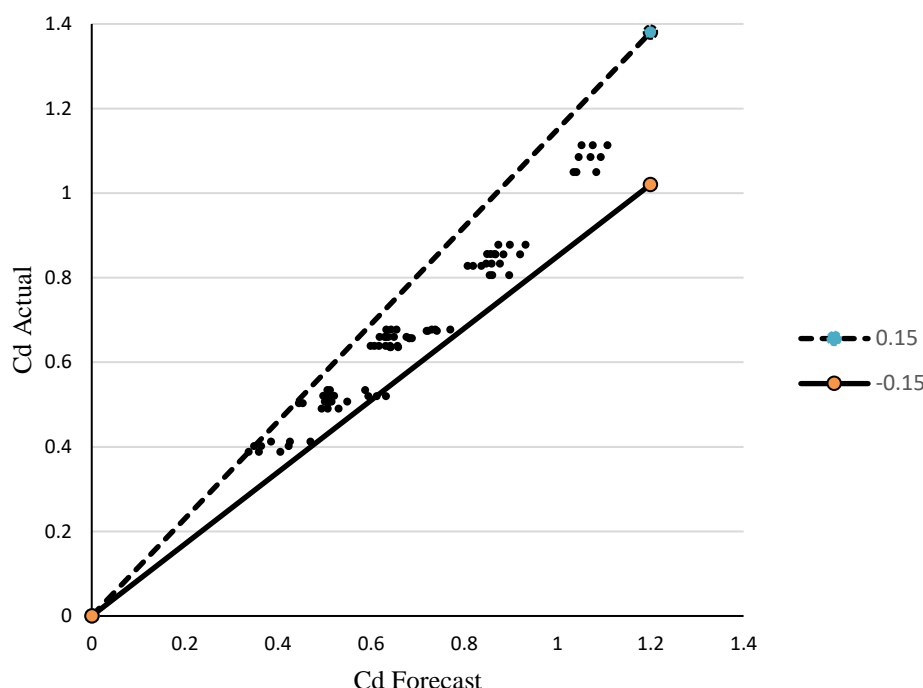


Fig. 17 Actual Discharge coefficient against Forecast Discharge coefficient

شکل ۱۷ میزان‌های ضریب دبی به‌دست آمده در مقابل ضریب‌های دبی محاسبه شده

در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود، رابطه‌ی ۱۰ به خوبی میزان‌های دبی عبوری را در محدوده خطای $\pm 0.15\%$ را پیش بینی کند. در ادامه به ارائه محاسبات آماری مربوط به مقایسه دبی واقعی و دبی تئوری (دبی محاسباتی از رابطه‌ی ۱۰) پرداخته شد که در جدول ۴ نتایج این بررسی مشاهده می‌شود.

جدول ۴ نتایج به‌دست آمده از صحت سنجی رابطه بین دبی

نظری و دبی واقعی

Table 4 Results from the validation of the relationship between actual Discharge and Computational Discharge

MAD	MSE	RMSE	MAPE
0.001613	4.46E-06	0.002111	0.048506

با توجه به پایین بودن میزان عددی RMSE و MAPE و مشاهده‌ی شکل ۱۸ می‌توان نتیجه گرفت که رابطه‌ی ۱۰ به خوبی می‌تواند دبی عبوری از دریچه‌ی سالونی بیضوی در حالت مستغرق را با وجود تبدیل تدریجی در بالادست، پیش بینی کند. بدیهی است کاربرد این رابطه در محدوده‌ی متغیرهای بدون بعد این بررسی توصیه می‌شود.

میزان بازشدگی نسبی دریچه سالونی بیضوی، می‌توان ضریب دبی دریچه را به‌دست آورد.

برای تکمیل بررسی نتایج و استخراج یک رابطه برای تعیین دبی با استفاده از ضریب دبی و استفاده‌ی کاربردی از نتایج این تحقیق، از ترکیب رابطه‌های ۷ و ۹ استفاده شد و رابطه ۱۰ به‌دست آمد.

$$Q_t = 4.37 \times S^{-1.98} \times \left(\frac{X}{L}\right)^{-0.095} \times \left(\frac{b_g}{B}\right)^{2.79} \times B \times Y_1^{3/2} \times \sqrt{\frac{S-1}{1-S^2}} \quad (10)$$

با استفاده از رابطه‌ی ۱۰ می‌توان دبی عبوری از دریچه‌ی سالونی بیضوی در حالت مستغرق و با وجود تبدیل تدریجی در بالادست را با در نظر گرفتن محدودیت‌های آزمایشگاهی و بازه‌ی فراسنجه‌ها در جدول شماره ۱، به‌دست آورد. لذا در ادامه برای همه آزمایش‌ها دبی به‌دست آمد و با دبی واقعی عبوری از فلوم مقایسه شد و نتایج این بررسی در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود. در این شکل محور افقی بیانگر دبی محاسبه‌ای از رابطه‌ی ۱۰ و محور عمودی بیانگر دبی واقعی می‌باشد.

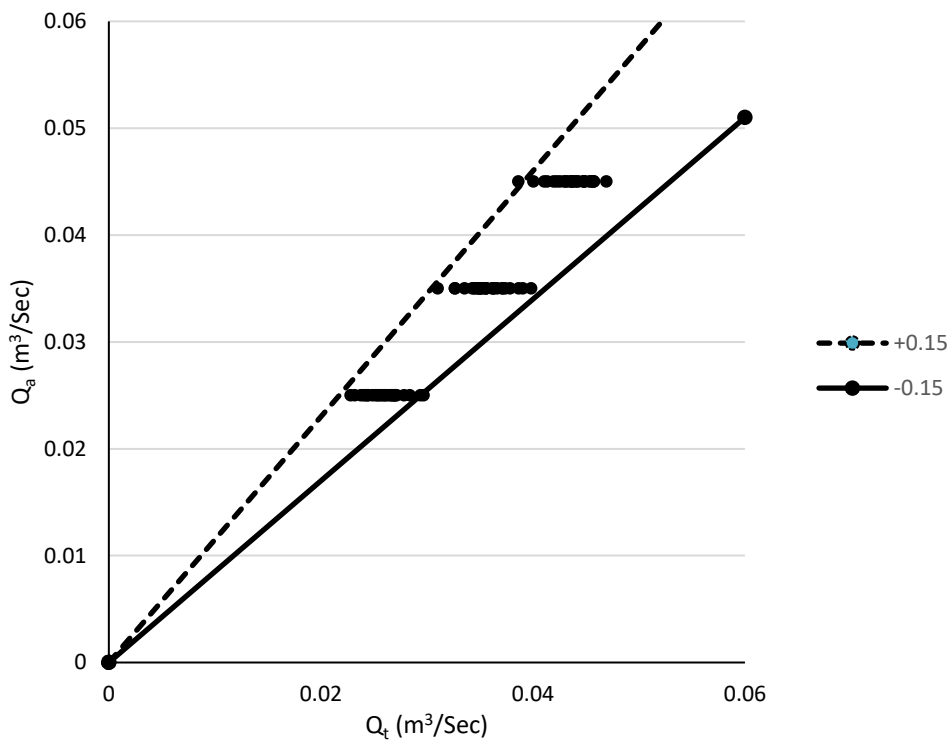


Fig. 18 Actual Discharge against Forecast Discharge

شکل ۱۸ میزان‌های دبی به‌دست آمده در مقابل دبی واقعی

افزایش می‌یابد. پس از محاسبه روند تغییر ضریب دبی با تغییر زاویه تبدیل تدریجی بالادست، مشاهده شد که در زاویه تبدیل تدریجی ۲۲/۵ درجه و بازشدگی نسبی دریاچه به میزان ۰/۴۹۵ در استغراق ۰/۸ و دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه، ضریب دبی بیشینه به میزان ۳۶/۹ درصد در مقایسه با حالت بدون تبدیل تدریجی، افزایش می‌یابد. در ادامه پس از بررسی روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی دریاچه سالونی بیضوی، مشاهده شد که با افزایش میزان بازشدگی نسبی دریاچه سالونی بیضوی از ۰/۴۱۴ تا ۰/۴۹۵ ضریب دبی کمینه به میزان ۳۹/۴ و بیشینه به میزان ۷۷/۴ درصد افزایش می‌یابد. در ادامه بررسی روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان استغراق و انجام محاسبات لازم، مشاهده شد که با افزایش استغراق از ۰/۷ تا ۰/۹ ضریب دبی کمینه به میزان ۵۸/۷ و بیشینه به میزان ۸۹/۶ درصد کاهش پیدا می‌کند. بررسی روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان استغراق نشان داد که با افزایش استغراق از ۰/۷ تا ۰/۹ ضریب دبی کمینه به میزان ۵۸/۷ و بیشینه به میزان ۸۹/۶ درصد کاهش پیدا می‌کند. در این مطالعه رابطه‌ای با

۴- نتیجه‌گیری

ضریب دبی از جمله فراسنجه‌های مهم دریاچه‌ها است و تعیین ضریب دبی در این سازه مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این تحقیق آزمایشگاهی برای نخستین بار از تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی استفاده شد و روند تغییر ضریب دبی با تغییر شرایط هندسی و هیدرولیکی به‌دست آمد. این تحقیق در استغراق‌های بالا (۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد) انجام شد تا خطای ناشی از نوسان اندازه‌گیری سطح آب، که در استغراق‌های پایین مشاهده می‌شود، حذف شود و محدوده‌ی دبی نیز با توجه به ظرفیت سامانه آبرسانی به فلوم، بین ۲۵ تا ۴۵ لیتر بر ثانیه انتخاب شد. همچنین میزان بازشدگی دریاچه از ۳۲/۸ تا ۳۹/۲ سانتی‌متر انتخاب شد تا نسبت $\frac{bg}{B}$ با توجه به عرض فلوم ۸۰ سانتی‌متر، در بازه‌ی ۰/۴۱۴ تا ۰/۴۹۵ قرار گیرد. نتایج این بررسی نشان داد با قرارگیری تبدیل تدریجی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی، ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش زاویه تبدیل تدریجی بالادست دریاچه سالونی بیضوی، ضریب دبی

of Irrigation and Drainage Engineering, 140(6), 04014018.

Gomez, M., Rodellar, J. and Mantencon, J. (2002). Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals. Applied Mathematical Modeling, 26, 1039-1056.

Langeman, P., Craig, K., Elser, P. and Allen, L., (2006). Irrigation Gate System, US Patent 7, 114, 878B2

Naghaei, R. and Monem, M.J. (2013a). Introducing various hydraulic and operation conditions of Lopac gate in irrigation canals. 1st National Conference on Irrigation and Agricultural water Productivity, Iranian Association of Irrigation and Drainage, Tehran, Iran. (In Persian)

Naghaei, R. and Monem, M.J. (2013b). Introduction of Lopac gate for upstream water level control in irrigation canals representing its hydraulic equation. 4th National congress on Irrigation and Drainage Network, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Persian)

Neisi, M., Sajadi, M. and Shafaei Bajestan, M. (2018). Experimental Investigation of Hydraulic Conditions of Lopac gate Crossing in Open Condition, 3rd International Conference & 4th National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Design, 5-7 September., Tabriz Islamic Art University – Iran. (In Persian)

Neisi, M. and Sajadi, M. (2019). Providing Discharge-depth Equations of Lopac Gate as Discharge control structures in Free Flow Conditions. The 11th international river Engineering conference, Ahvaz, Iran. (In Persian)

Oad, R. and Kinzli, K. (2006). SCADA Employed in Middle Rio Grande Valley to Help Deliver Water Efficiently. Newsletter of the water center at Colorado State University (online) 10 August. Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates>.

Pilbala, A. (2019). Laboratory investigation of hydraulic flow through elliptical lopac gate under submerged conditions. Master thesis. Water Structures Dept. Faculty of Water Science Engineering. Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)

Pilbala, A., Sajadi, M. and Shafaei Bajestan, M. (2018). Experimental Investigation of Hydraulic Conditions and Presentation of Lopac- gate Rectangular Valve Relationships in Submerged Flow Conditions, 3rd International Conference & 4th National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Design 5-7 September. 2018, Tabriz Islamic Art University – Iran. (In Persian)

دقت $\pm 1.5\%$ به منظور تعیین دبی عبوری از دریچه نیز ارائه شد. همچنین باید تاکید شود که میزان دقت رابطه‌های ارائه شده در این بررسی برای محدوده‌ی متغیرهای بدون بعدی است که بررسی شده‌اند.

۵- فهرست نشانه‌ها

Y_1	عمق جریان بالادست سرریز (m)
Y_2	عمق جریان پایین دست سرریز (m)
B	عرض فلوم (m)
b_g	میزان بازشدگی دریچه (m)
L	فاصله طولی محل آغاز تبدیل تدریجی تا دریچه (m)
X	عرض فرورفتگی تبدیل تدریجی (m)
C_d	ضریب دبی
g	شتاب ثقل (m/s^2)
μ	لزوجت سیال ($N.S/m^2$)
ρ	جرم واحد حجم سیال (Kg/m^3)
S	استغراق
H_f	افت انرژی رخ داده در عبور جریان از دریچه (m)
Q_a	دبی واقعی عبوری از دریچه (Lit/sec)
Q_t	دبی محاسباتی عبوری از دریچه (Lit/sec)
R	درصد افزایش ضریب دبی
V_1	سرعت جریان بالادست سرریز (m/s)
V_2	سرعت جریان پایین دست سرریز (m/s)

۶- سپاسگزاری

هزینه‌های مالی این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده اول با شماره ۹۸/۰۳/۰۵/۱۴۹۰۹ تامین شده است که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌شود.

۷- منابع

Aqua Systems 2000 Inc., (2013). Leaders in Water Management and Control, Aqua Systems 2000 Inc. Available from: <http://www.as2i.net/products/controlgates/hydra-lopac-gate>.

Cox, A.L., Kullberg, E.G., MacKenzie, K.A. and Thornton, C.I. (2014). Stage-discharge rating equation for an elliptical sharp-crested weir. Journal

Yousofvand, F. and Kavianpour, M.R. (2015). Presentation of stage-discharge relationships of lopac gate with transition as a new field structure under free flow condition. First national conference of review of 550 thousand-hectare lands of Khuzestan and Ilam under technical, economic, social and environmental dimensions. Ahvaz. (In Persian)

Yousofvand, F., Monem, M.J. and Kavianpour, M.R. (2015). Experimental and Theoretical Analysis of Discharge Coefficient for Submerged Lopac Gate. Irrigation and Drainage, 9(5), 811-819. (In Persian)

Yousofvand, F., Monem, M.J. and Kavianpour, M.R. (2018). Experimental Investigation of the Effect of Submergence and Entrance Transition on Stage-Discharge Relations for Lopac Gates. Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(5), 1095-1106. (In Persian)