Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 47, No. 3, Fall 2024, p. 1-17

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Study of the Effect of Gradual Parabolic Inlet Transition of the Elliptical LOPAC Gate on the Hydraulic Conditions of the Flow

M. Shafai-Bajestan[1], K. Kazemi Hassanvand[2] and M. Zeinivand[3*]

1-Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2-Master of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3- Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. (M.Zeinivand@Scu.ac.ir).*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 30 September 2021
Revised: 06 May 2022
Accepted: 08 May 2022

Keywords:
Elliptical Lopac Gate, Gradual Parabolic Transition, Flow Coefficient, Relative Energy Loss, Flow3D.

TO CITE THIS ARTICLE:

Shafai-Bajestan, M., Kazemi Hasanvand, K., Zeinivand, M. (2024). 'Numerical Study of the Effect of Gradual Parabolic Inlet Transition of the Elliptical LOPAC Gate on the Hydraulic Conditions of the Flow', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(3), pp. 1-17. doi: 10.22055/jise.2022.38726.1993.

Introduction

Flow control and regulation of water levels in irrigation canals are critical to improving the distribution network's performance, water transfer, and ease of operation of the intakes. Therefore, the network needs to improve the existing control and regulation structures and construct the new structures (Monem and Hosseinzadeh, 2012). Today, various spillways and gates have been used as control and regulation structures in water transmission networks. Elliptical LOPAC gates are a particular type of gate that researchers have considered in recent decades due to their convenient advantages (Pilbala et al., 2021). Studies have been limited so far, so in this study, the hydraulic performance of this type of gate with the presence of gradual inlet transition has been investigated both experimentally and numerically. Research on Lopac gates indicates that studies have been performed on hydraulics, mainly in a sudden contraction or full-width gates in the laboratory flume. However, in many cases, the width of the gate needs to be less than the width of the channel, and an inlet transition is necessary to reduce the energy loss. Therefore, a parabolic transition was used in this study, and in particular, the effect of the parabolic transition upstream of the elliptical Lopac gate on the hydraulic conditions was investigated using Flow-3D software.

Methodology

This study uses the results of 9 experiments performed by Shafai Bajestan et al. (2020) to calibrate the numerical model. The numerical model was simulated using the data of these experiments. This simulation used three turbulence models, RNG, K-ε, and LES, and the LES turbulence model with the lowest error was selected for further investigation. To investigate the effect of parabolic inlet transition,

five models of parabolic shape transitions were tested. A non-transition case was considered a control experiment to compare the result. Three different parabolic transitions were simulated at three other flow discharges and three separate openings. The flow rate and energy drop across the gate were calculated in each experiment. Total number 45 Simulation was performed with different variables. The dimensional analysis was conducted to find the best relation between the desired non-dimensional parameters shown in Eqs. (1) and (2) using the π Buckinham's theory.

In these equations, R_1 is the transition radius (fixed in this study, equal to 15 cm), R_2 is the longitudinal radius of upward parabolic, Bg is the elliptical Lopac gate opening, B is the width of the flume, C_d is the flow coefficient, and Y_1 and Y_2 are the upstream and downstream flow depths, respectively. ΔE and E_1 are also energy loss and the upstream energy, respectively.

$$C_d = f_1(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}) \quad (1)$$

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_2(\frac{Bg}{B}, \frac{R_2}{R_1}) \quad (2)$$

Findings

The numerical simulation results showed that with increasing the ratio R_2 / R_1, the discharge coefficient increases in all experiments, and it was observed that with increasing the relative opening of the gate, the discharge coefficient also increases. By placing a gradual parabolic transition with minimum elongation at 25, 35, and 45 liters per second flow rates compared to non-conversion conditions, the flow rate coefficient is at least 6, 6.4, and 7.2% will increase. To study the same trend in different openings, it was observed that for relative openings of 0.41, 0.45, and 0.49, the discharge coefficient increased by at least 8.9, 5.7, and 5%, respectively. Then the flow rate coefficient in the minimum and maximum elongation at different flows and openings were compared and evaluated. The results showed that with an increase in relative elongation from 0.33 to 1.67 at 25, 35, and 45 liters per second, respectively, an average increase of 21.5, 13.4, and 11.5 percent occurred. In the end, the discharge coefficient in non-transition mode and the transition with maximum elongation were compared. It was observed that the maximum increase of discharge coefficient occurred by 24% in the test with flow discharge of 35 l/s and relative opening of 0.41.

Studies have shown that the relative energy loss will decrease with increasing the R2/R1, and this trend was observed for all discharges and all gate opening ratios. It was also observed that the relative energy loss would decrease with increasing the relative opening of the elliptical Lopac gate. At a flow rate of 25 liters per second and a relative opening of 0.41, the highest R2/R1 reduces the relative energy loss by 27.7% compared to the case without gradual conversion.

With the help of numerical model output and TEC plot software, streamlines were plotted for all experiments. The results showed that in the non-transition state, a horizontal vortex forms on both sides upstream and downstream of the gate. While in the presence of gradual parabolic transition, this vortex is not formed and the flow lines are transmitted to the gate without separation from the walls. In addition, the downstream, in conditions without gradual transition, vortices are formed on both sides of the outlet flow of the gate and for a relatively long length. The main reason is the sudden concentration and compression of the flow lines upstream and their passage through the gate, which by increasing the width of the gate upstream to a great distance, the flow lines cannot return to the walls. As a result of this separation, a relatively long horizontal pattern is formed downstream. While in the case of gradual parabolic transition, the downstream streamlines reach the walls at a shorter distance, and the separation zone area is reduced, which certainly results in the strength of the horizontal vortex decreasing; so the

energy loss decreases and causes the discharge coefficient to increase. Therefore, gradual transition causes uniformity in flow passing through the gate.

Conclusion

Elliptical Lopac gates are a particular type of Lopac gates that researchers have recently considered. In this research, using Flow-3D software, the presence of gradual parabolic transformation upstream of this gate was simulated. The experiments were performed in two modes without gradual conversion and also with the presence of parabolic gradual conversion. The results showed that after the gradual parabolic transformation is located upstream of the elliptical Lopac gates, the flow vectors enter the gate with less curvature and fracture, and the number and size of vortices generated downstream of the gate are reduced. Therefore, the discharge coefficient increases and the energy loss also decreases due to the mentioned changes. So with the gradual parabolic transformation located above the elliptical Lopac gate, the relative energy loss decreased by 27.7%, and the discharge coefficient increased by 24%.

Acknowledgment

This research is taken from the master's thesis of the second author. Financial support received from the grant of the 1st author with the grant number SCU.WH1400.470. The authors appreciate the Vice Chancellor for Research of Shahid Chamran University of Ahvaz for this support.

References

1- Monem, M. J, Hosseinzadeh, Z., 2012. Development and testing of an automatic hinged overflow mathematical model with PID logic. *Iranian Soil and Water Research*, 43 (1), pp. 87-94. (In Persian).

2- Pilbala, A., Sajjadi, S. and Bejestan, M.S., 2021. Hydraulic performance of elliptical-LOPAC gate under submerged flow conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(1), pp.317-326. doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007.

3- Shafaei Bajestan, M., Zeinivand, M., Tahmasebipour, M., 2020. Elliptical lopac gate discharge coefficient with gradual conversion in submerged conditions. *Journal of Hydraulics*, 15 (2), pp. 67-80. (In Persian).

© 2024 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article 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/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٧، شماره‌ی۳، پاییز ۱٤۰۳، مقاله پژوهشی، ص. ۱۷-۱

مطالعه عددی تأثیر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیکی جریان

محمود شفاعی بجستان[۱]، کیوان کاظمی حسنوند[۲] و مهدی زینی وند[۳*]

۱- استاد گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۲- کارشناس ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳*- نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
M.Zeinivand@Scu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۷/۰۸ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۱۶ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۸

چکیده

سرریزها و دریچه‌ها از جمله سازه‌های موثر در شبکه‌های آبرسانی روباز می‌باشند. دریچه‌های سالونی بیضوی نوع خاصی از دریچه‌ها می‌باشند که اخیرا مورد توجه محققین قرار گرفت. حضور تبدیل تدریجی در بالادست دریچه‌های سالونی بیضوی می‌تواند نقش موثری در افزایش کارایی دریچه‌ها اعمال نماید. در این تحقیق اثر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی روی پارامترهای هیدرولیکی (ضریب دبی و افت انرژی) مورد مطالعه نرم‌افزاری قرار گرفت. بنابراین سناریوهای مورد نظر توسط نرم افزار Flow3D شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد پس از قرارگیری تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، بردارهای جریان با انحنا و شکستگی کمتری وارد دریچه می‌شوند و تعداد و اندازه گردابه‌های بوجود آمده در پایین‌دست دریچه نیز کاهش می‌یابند. لذا با افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی به سمت بالادست دریچه و افزایش پارامتر Rr ، ضریب دبی دریچه افزایش و میزان افت انرژی نسبی جریان عبوری از دریچه کاهش می‌یابد. پس از بررسی کمی و محاسبه درصد افزایش ضریب دبی و کاهش افت انرژی، حداکثر افزایش ضریب دبی به میزان ٢٤ درصد و حداکثر کاهش افت انرژی نسبی به میزان ۲۷/۷ درصد مشاهده شد.

کلید واژه‌ها : دریچه سالونی بیضوی- تبدیل تدریجی سهموی- ضریب دبی- افت انرژی نسبی- Flow3D.

مقدمه

با توجه به بحران منابع آب که در سراسر جهان در حال ظهور است، نیاز به اقدامات مناسب‌تر برای کنترل، توزیع، تنظیم و انتقال آب برای کانال‌های آبیاری و زهکشی به شدت افزایش یافته است (Gómez et al. 2002). فرآیند نوسازی سیستم‌های آبیاری، به‌ویژه برای دست‌یابی به سیستم پایدار در مدیریت منابع آب، برای بهبود و استفاده حداکثری از زیرساخت‌های آبی کشاورزی موجود، با هدف صرفه‌جویی در هزینه‌های بالای ساخت سیستم‌های آبیاری جدید، موجب افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری در شبکه‌های بهره‌برداری و توزیع آب خواهد شد (Pilbala et al., 2021). کنترل جریان و تنظیم سطح آب در شبکه‌های آبیاری، برای ارتقاء عملکرد شبکه‌ها و سهولت کارکرد آب‌گیرها موضوع مهمی است که نیازمند بهبود سازه‌های کنترل و تنظیم موجود و نیز استفاده از سازه‌های نوین در شبکه‌ها می‌باشد (Monem and Hosseinzadeh, 2012). یکی از ضروری‌ترین اقدامات لازم در به‌سازی شبکه‌ها، تجهیز آن با سازه‌های کنترل و تنظیم آب کارا و قابل اطمینان است. از طرف دیگر، سازه‌هایی که در کانال‌های آبیاری نصب می‌شوند، باید به گونه‌ای عمل کنند که ضمن تنظیم دقیق سطح آب در سطح هدف، تمامی آبگیرها از کانال اصلی به اندازه مورد نیاز آب دریافت کنند (Yousofvand et al., 2015). دریچه‌های سالونی بواسطه ساختار خاص فیزیکی و امتیازاتی که دارا می‌باشند، در دهه اخیر مورد توجه محققان قرار گرفت. از جمله امتیازات این دریچه‌ها, عدم رسوب‌گذاری در بالادست آنها و توانایی عبور جریان با دبی بالا می‌باشد. این دریچه‌ها ابتدا در دهه ۱۹۸۰ توسط پیتر لانگمن ابداع شد و شرکت آکوا سیستم (Aqua system, 2000) (AS21) به منظور ارائه یک راه حل انعطاف‌پذیر و اقتصادی، برای کنترل جریان در کانال‌های کوچک و متوسط، مدل ساده دریچه سالونی را با یک سیستم محرک خودکار ترکیب کرد (Naghai et al. 2016). شرکت آکوا سیستم ضمن ارائه‌ی معادله‌های دبی دریچه سالونی در شرایط جریان آزاد و مستغرق، آستانه استغراق این سازه را سه درصد معرفی کرد که مطابق با آن، چنانچه درجه استغراق دریچه (نسبت عمق آب پایین-دست دریچه به عمق آب بالادست دریچه) کمتر از ۰/۳ باشد، جریان

عبوری از دریچه آزاد و در غیر این صورت جریان مستغرق می‌باشد (Aqua system 2000 , 2013). Yousefvand et al. (2018a) در مطالعه‌ای به تعیین رابطه آستانه استغراق و بازشدگی دریچه سالونی در شرایط مختلف جریان پرداختند. در این تحقیق آستانه استغراق دریچه سالونی در زوایای مختلف بازشدگی مورد بررسی قرار گرفت و بر این اساس رابطه‌ای برای آستانه استغراق دریچه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی در دو دبی و بر مبنای پارامترهای بی بعد موثر بر سازه، بدست آمد که در بررسی میزان دقت این رابطه حداکثر ۱۰ درصد خطا مشاهده شد. Babaei Faqihmahaleh et al (2018) در مطالعه‌ای به بررسی تاثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریچه سالونی – پارشال فلوم پرداختند. در این تحقیق عملکرد سازه تحویل حجمی دبی دریچه سالونی پارشال فلوم برای شرایط مختلف هندسی شامل مقدار بازشدگی دریچه سالونی، ابعاد و دیگر پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد بازشدگی‌های ۱۱ و ۲۳ درصد دریچه سالونی موجب افزایش افت انرژی نسبی به میزان ۲۹/۷ درصد می‌گردد. Yousefvand et al. (2018b) در مطالعه‌ای به برآورد معادلات جریان و ضریب دبی دریچه‌های سالونی در شرایط مستغرق پرداختند. در این تحقیق پس از انجام آزمایش‌ها و بررسی نتایج آزمایشگاهی و انجام رگرسیون بین پارامترهای بدون بعد، معادله‌ای صریح برای ضریب دبی دریچه‌های سالونی در شرایط جریان مستغرق ارائه شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که ضریب دبی تا نسبت بازشدگی ۰/۳۹ روند صعودی داشته و پس از آن کاهش می‌یابد. Naghaei و Monem (2016) به‌منظور ارزیابی مدل ریاضی شبیه‌سازی شده دریچه سالونی و ارائه دستورالعمل بهره‌برداری، از سازه‌ی موجود در کانال E1R1 واقع در شبکه آبیاری دز استفاده کردند. پس از بررسی‌های لازم در نهایت نموداری برای حالت جریان آزاد و مستغرق و دبی‌های مختلف استخراج شده است. سپس مطالعاتی بر روی دریچه سالونی بیضوی انجام شد که در ادامه ارائه خواهند شد. Sajjadi et al. (2020) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر تبدیل ناگهانی بر ضریب دبی دریچه سالونی– بیضوی در شرایط جریان مستغرق پرداختند. نتایج این بررسی نشان داد که ضریب دبی دریچه سالونی بیضوی با تبدیل ناگهانی در حدود ۱۴ تا ۷۳ درصد نسبت به شرایط هم‌عرض کانال کاهش می یابد. همچنین نتایج نشان داد ضریب دبی با عدد فرود و زاویه بازشدگی دریچه رابطه مستقیم و با میزان تنگ شدگی کانال ناشی از تبدیل و استغراق دریچه رابطه عکس دارد. Kheybar et al. (2021) در مطالعه‌ای به بررسی استهلاک انرژی و دبی عبوری از دریچه سالونی بیضوی در شرایط وجود تبدیل ناگهانی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار افت انرژی و دبی عبوری از دریچه سالونی بیضوی با تبدیل ناگهانی نسبت به شرایط هم‌عرض کانال به ترتیب در حدود ۲۸ تا ۸۶ درصد کاهش و ۱۱ تا ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. Sajjadi et al. (2021) در مطالعه‌ای به بررسی معادله‌ها و ضریب دبی دریچه سالونی بیضوی و دریچه سالونی مستطیلی در وضعیت آزاد پرداختند. در این مطالعه با کمک معادله انرژی و نتایج آزمایشگاهی، خصوصیات جریان عبوری از نوع اصلاح شده‌ی این دریچه، به نام دریچه سالونی بیضوی در وضعیت آزاد بررسی شد. در این تحقیق پس از انجام آزمایش‌ها مشاهده شد که ضریب دبی تنها تابعی از نسبت بازشدگی دریچه است. همچنین مشخص شد در وضعیت یکسان، با کم شدن بازشدگی، ضریب دبی دریچه سالونی بیضوی نسبت به دریچه سالونی مستطیلی افزایش می‌یابد. Pilbala et al. (2021) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی دریچه سالونی بیضوی در شرایط مستغرق پرداختند. در این تحقیق تعداد ۹۰ آزمایش در شرایط مختلف دبی و بازشدگی دریچه و استغراق انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها، ضریب دبی و افت انرژی محاسبه شد و نتایج نشان داد که حداکثر کاهش افت انرژی نسبی زمانی رخ خواهد داد که استغراق دریچه به میزان ۲۰ درصد افزایش یابد. Kheibar et al. (2020) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی تاثیر تبدیل ناگهانی بر میزان دبی عبوری و همچنین افت انرژی در دریچه‌های سالونی بیضوی پرداختند. در این تحقیق تعداد ۱۰۸ آزمایش در شرایط مختلف دبی و استغراق و بازشدگی انجام شد. پس از محاسبه ضریب دبی و افت انرژی در هر آزمایش و آنالیز نتایج به‌دست آمده، رابطه‌ای برای پیش‌بینی دبی عبوری از دریچه سالونی بیضوی استخراج شد که این رابطه دارای خطای کمتر از نه درصد در تخمین دبی می باشد. Pilbala et. al. (2021) برای به‌دست آوردن ضریب دبی عبوری از دریچه بیضوی، با نوشتن رابطه انرژی بین بالادست و پایین دست دریچه سالونی به شرح زیر اقدام کرد:

$$Y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = Y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \qquad (۱)$$

که میزان افت از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$h_f = C\left|\left(\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g}\right)\right| \qquad (۲)$$

سپس با لحاظ کردن رابطه پیوستگی جریان بین بالادست و پایین‌دست دریچه سالونی و ترکیب رابطه‌های به‌دست آمده، ضریب دبی به شرح زیر استخراج شد.

$$C_d = \frac{Q_a}{BY_1^{3/2}\sqrt{\frac{S-1}{1-S^{-2}}}} \qquad (۳)$$

DOI: 10.22055/JISE.2022.38726.1993

در رابطه (۳)، Q_a دبی عبوری از دریچه است که در آزمایش‌ها مقدار آن توسط سرریز مستطیلی لبه تیز واقع در پائین‌دست فلوم اندازه‌گیری می‌شود. Shafaei Bajestan et al. (2020) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی ضریب دبی دریچه سالونی بیضوی همراه با تبدیل تدریجی در شرایط مستغرق پرداختند. در این مطالعه تأثیر قرارگیری تبدیل تدریجی با زوایای مختلف بر ضریب دبی در شرایط مختلف جریان و در مقادیر مختلف استغراق و بازشدگی دریچه سالونی بیضوی، به طور آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج نشان می‌هد که با قرارگیری تبدیل تدریجی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زاویه تبدیل تدریجی، ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد و این روند برای همه مقادیر استغراق‌ها و بازشدگی دریچه مشاهده شد.

بررسی تحقیقات در زمینه دریچه‌های سالونی بیانگر آن است که مطالعه‌هایی در خصوص هیدرولیک دریچه سالونی انجام شده است که عمدتا به‌صورت انقباض ناگهانی و یا دریچه هم‌عرض با فلوم آزمایشگاهی بوده است. این درحالی است که در موارد متعددی عرض دریچه کمتر از عرض کانال می‌باشد و برای کاهش افت، نیاز به تبدیل تدریجی ضروری است. از این رو در این مطالعه از تبدیل-های سهموی به جای تبدیل‌های خطی مستقیم استفاده شده است و بطور خاص اثر میزان سهموی بودن تبدیل تدریجی در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیک دریچه بررسی شده است.

مواد و روش ها

معرفی نرم افزار

دینامیک سیالات محاسباتی با تبدیل معادله‌های دیفرانسیلی حاکم بر معادله‌های جبری، امکان حل عددی آن‌ها را فراهم می-سازد. علی رغم وجود روشها و الگوریتم های مختلف برای حل عددی معادله‌های حاکم، تقریباً در تمامی روش‌ها با تقسیم ناحیه مورد نظر به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی برای گره-های مرزی با در نظر گرفتن تقریب‌هایی، یک دستگاه معادله‌های خطی به‌دست می‌آید که با حل این معادله‌های جبری، میدان سرعت، فشار و سایر پارامترها به‌دست می‌آید (Arab ameri and Barfehi. 2016). از نرم افزارهای قدرتمند در زمینه مکانیک سیالات بر اساس حجم محدود نرم‌افزار Flow-3D است که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط شرکت Flow Science Inc صورت گرفته است (Bahrebar et al. 2018). در مدل Flow-3D قوانین حاکم بر جریان یک سیال تراکم ناپذیر لزج، توسط معادله‌های پیوستگی و اندازه حرکت که به معادلات Navier-Stokes معروف هستند، بیان می شود. روابط زیر به‌ترتیب روابط پیوستگی و اندازه حرکت در برای اختیاری i می باشند.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \qquad (۴)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_i} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \vartheta \nabla^2 u_i \qquad (۵)$$

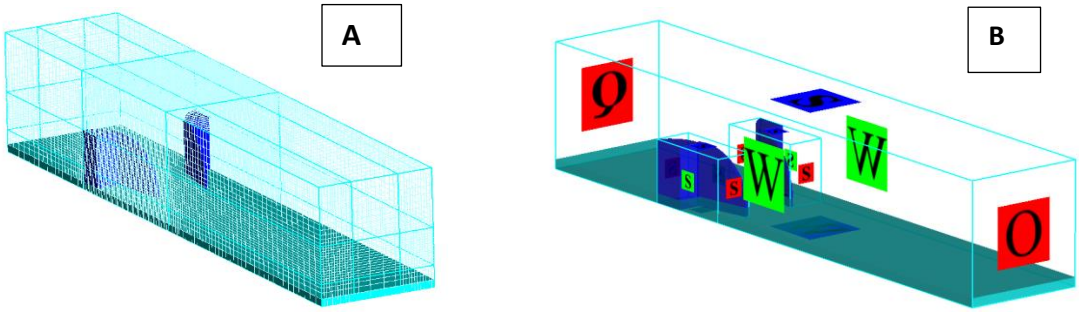
در روابط فوق u_i: مولفه سرعت لحظه‌ای در برای i (m/s)، μ: لزوجت دینامیکی سیال $(N.s/m^2)$، ρ: چگالی سیال (kg/m^3)، g_i : مولفه شتاب ثقل در برای i (m/s^2) و p : فشار در هر نقطه از سیال (Pa) می باشد (Zamiri et al., 2020). نرم افزار Flow-3D یک مدل مناسب برای حل مسایل پیچیده دینامیک سیالات بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل نماید. این نرم‌افزار از روش حجم محدود برای حل معادله‌های حاکم بر جریان با استفاده از شبکه‌بندی منظم و روش حجم سیال برای محاسبه سطح آزاد آب در مجاری باز استفاده می کنند. این مدل قابلیت تحلیل یک، دو و سه بعدی میدان جریان را دارد. معادله‌های پایه ای مورد استفاده در این مدل، معادله‌های Navier- stokes هستند و از پنج مدل آشفتگی طول اختلاط پرانتل (Prantdl mixing length)، یک معادله ای (One equation Turbulent energy model)، دو معادله‌ای $k-\varepsilon$ (Two equation $k-\varepsilon$ model)، مدل‌های RNG (Renormalized group model) و مدل شبیه سازی گردابه-های بزرگ (Large eddy simulation model) در حل خصوصیات جریان‌های آشفته استفاده می‌کنند (Kaheh et al. 2015).

واسنجی مدل

در ابتدای تحقیق از نتایج آزمایش‌های انجام شده توسط Shafaei Bajestan et al (2020) در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز برای واسنجی مدل عددی استفاده شد. این آزمایش‌ها در فلومی به طول ۱۰ متر و عرض و ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر، با حضور دریچه سالونی بیضوی به همراه تبدیل تدریجی خطی در بالادست، انجام شد. برای انجام شبیه‌سازی‌های اصلی هندسه‌ی پنج تبدیل سهموی به همراه سه بازشدگی متفاوت در نرم‌افزار اتوکد صورت گرفت. سپس فایل‌های موردنظر با فرمت Stl برای انجام شبیه‌سازی به مدل فراخوانی شدند. در شکل (۱) نمونه‌ای از این طراحی مشاهده می‌شود.

شرایط مرزی تعریف شده به مدل در مش‌بلاک‌های تبدیل و دریچه به این صورت بود که صفحات مش ورودی، خروجی، بالایی و صفحه‌ی مجاورجریان از نوع Symmetry، صفحات مش مجاور دیواره‌ی فلوم و کف نیز از نوع Wall بود. در شبکه‌ی مش فلوم، مرز ورودی Volume Flow rate، خروجی OutFlow، کف و دیواره‌ها Wall و مرز بالایی نیز از نوع Symmetry تعریف شد. برای صحت سنجی مدل عددی و انتخاب مدل حل آشفتگی مناسب مجموعا ۲۷ مدل‌سازی با سه مدل حل آشفتگی RNG، $K-\varepsilon$ و LES صورت گرفت. در این بررسی عمق جریان در بالادست دریچه به‌عنوان معیار انتخاب مدل آشفتگی انتخاب شد. با مقایسه انجام گرفته بین داده های آزمایشگاهی و خروجی نرم افزار، شکل زیر حاصل شد. در شکل (۲) خطوط مربوط به خطای $\pm 10\%$ ترسیم شده اند.

سپس بررسی های آماری انجام شد و نتایج حاصل در جدول (۱) نمایش داده شده است.



A) Valve mesh and gradual upstream conversion, B) Three-dimensional view of the valve with gradual conversion

شکل ۱ – (a): مش بندی دریچه و تبدیل تدریجی بالادست. (b): نمای سه بعدی دریچه به همراه تبدیل تدریجی.

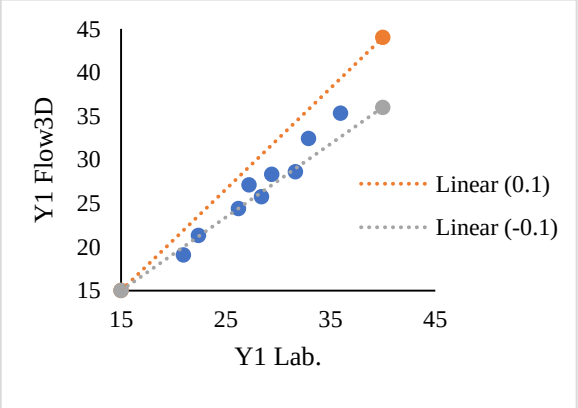


Fig. 2- Comparison between laboratory and software results for software calibration

شکل ۲- مقایسه بین نتایج آزمایشگاهی و نرم‌افزاری برای کالیبراسیون نرم‌افزار

جدول ۱- مقادیر شاخص‌های آماری

Table 1- Values of statistical indicators

Model	R^2	RMSE
RNG	0.83	7.69
k-e	0.88	7.11
LES	0.98	4.31

DOI: 10.22055/JISE.2022.38726.1993

با شبیه سازی این آزمایش‌ها در نرم افزار و مقایسه آماری نتایج به‌دست آمده با نتایج آزمایشگاهی، مشاهده شد که مدل آشفتگی LES دارای کمترین میزان خطا و بیشترین میزان همخوانی بین نتایج نرم افزار و نتایج آزمایشگاهی دارد. بنابراین در ادامه برای شبیه‌سازی از این مدل آشفتگی استفاده شد.

شبکه بندی و مشخصات میدان حل

برای شبیه‌سازی سازه‌ی مورد نظر ابتدا با استفاده از نرم‌افزار اتوکد اقدام به طراحی دریچه سالونی بیضوی به همراه تبدیل تدریجی در بالادست شد و خروجی این سازه به محیط نرم افزار Flow-3D وارد شد. سپس با مش بندی مناسب در بالادست، اطراف و پایین‌دست سازه، بگونه ای که شرایط و ضوابط استاندارد برای شبیه‌سازی رعایت گردد، شرایط اولیه برای شبیه‌سازی فراهم شد. در این مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D از سه مش‌بلاک استفاده شد و دلیل این امر نیز آن بود که با توجه به ضخامت کم سازه‌ی تبدیل تدریجی سهموی و همچنین دریچه‌ی سالونی بیضوی به‌دلیل عدم افزایش تعداد مش‌ها در سایر نقاط و هم‌چنین کمتر شدن مدت زمان و حجم شبیه‌سازی، مش‌هایی با ابعاد بسیار ریزتر در مجاورت سازه استفاده شد. اندازه‌ی مش‌های مجاور این سازه ۰/۰۰۷ متر و تعداد مش‌ها در هر مش‌بلاک ۱۵۴۰۰۰ عدد در نظر گرفته شد. کل هندسه‌ی تعریف شده در بالادست و پایین دست سازه نیز مجموعا ۱۲۳۰۰۰ مش به ابعاد ۰/۰۲۸ متر بود.

پارامترهای تحقیق و آنالیز ابعادی

با استفاده از شکل زیر جزییات پارامترها و متغیر ها ارائه می شوند

در شکل (۳) پارامتر R_1 شعاع عرضی (در این تحقیق برابر ۱۵ سانتی‌متر ثابت انتخاب شد) و R_2 شعاع طولی تبدیل تدریجی سهموی بالادست، B_g میزان بازشدگی دریچه سالونی بیضوی و B عرض فلوم می باشد.

برای انجام آزمایش‌ها پنج هندسه برای تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی در نظر گرفته شد که مشخصات آنها، با توجه به شکل (۳) در جدول (۲) مشاهده می شوند.

بنابراین تعداد ۵۴ شبیه‌سازی با توجه به جدول فوق انجام شد. لازم به ذکر است که با توجه به شکل (۳–ب) و جدول فوق ، صفر بودن پارامتر R_2 به معنای عدم وجود تبدیل تدریجی در بالادست می‌باشد و در واقع به عنوان آزمایش شاهد در نظر گرفته شد.

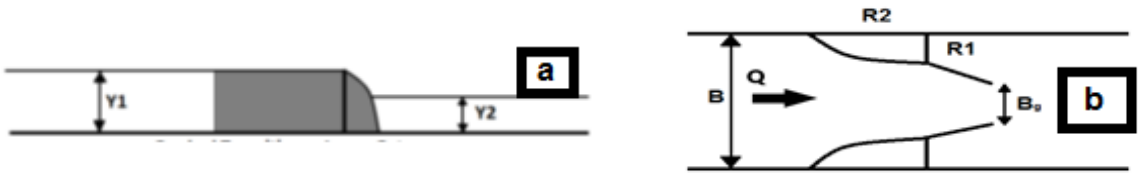


Fig. 3– (a) Longitudinal profile of the flow through the Lopac gate, (b) View from above the stream passing through the Lopac gate

شکل ۳- (a): نیمرخ طولی عبور جریان از دریچه سالونی. (b): دید از بالای جریان عبوری از دریچه سالونی.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق

Table 2 - The values of the parameters used in this research

Q(Lit/Sec)	B (cm)	B_g(cm)	R_1(cm)	R_2(cm)
25	80	0.33	15	0 5
35		0.36		10 15
45		0.39		20 25

آنالیز ابعادی

در این تحقیق پارامترهای ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از دریچه سالونی بیضوی با وجود تبدیل تدریجی سهموی در بالادست مورد بررسی قرار گرفت که هر کدام از این موارد به صورت جداگانه مورد بررسی ابعادی قرار می‌گیرد.

آنالیز ابعادی ضریب دبی

برای بررسی ضریب دبی ابتدا پارامترهای موثر بر این ضریب در رابطه (۶) ارائه شد.

$$f_1(C_d, Y_1, Y_2, R_1, R_2, B, B_g, \rho, g, \mu) = 0 \qquad (۶)$$

در رابطه فوق C_d ضریب دبی ، Y_1 و Y_2 به‌ترتیب عمق جریان در پایین‌دست و بالادست دریچه، R_1 و R_2 به‌ترتیب شعاع تبدیل تدریجی سهموی در جهت عرضی و طولی کانال (که به اختصار در این تحقیق شعاع عرضی و شعاع طولی نامیده شد)، B و Bg به‌ترتیب عرض کانال و عرض بازشدگی دریچه می‌باشند. سپس با استفاده از روش آنالیز ابعادی و استفاده از قضیه پی باکینگهام و انتخاب متغیرهای ρ ، g و Y_1 به‌عنوان متغیرهای تکراری و ترکیب آن‌ها، اعداد بی بعد نهایی مطابق رابطه زیر استخراج شد.

$$C_d = f_2(S, \frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}, R_n) \qquad (۷)$$

در رابطه فوق S نسبت استغراق یا همان نسبت عمق جریان پایین‌دست به عمق جریان در بالادست سرریز، $\frac{B_g}{B}$ نسبت عرض بازشدگی دریچه به عرض کانال (که به اختصار در این تحقیق بازشدگی نسبی دریچه نامیده شد) ، $\frac{R_2}{R_1}$ نسبت شعاع عرضی به شعاع طولی تبدیل سهموی بالادست دریچه سالونی بیضوی (که در این تحقیق شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی نامیده شد) و R_n عدد رینالدز جریان می‌باشد. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر محدوده عدد رینالدز بین ۳۱۲۵۰ و ۵۶۲۵۰ می‌باشد که در محدوده آشفته می‌باشد، لذا از عدد رینالدز صرفنظر می‌گردد. همچنین با توجه به اینکه در تحقیق حاضر آزمایشات در شرایط آزاد انجام شد، لذا مطابق نتایج تحقیق انجام شده توسط Sajjadi et al. (2020) می‌توان از استغراق صرف‌نظر نمود. بنابراین در نهایت رابطه بین ضریب دبی و دیگر پارامترها به صورت زیر می باشد.

$$C_d = f_3(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}) \qquad (۸)$$

بنابراین تمامی نمودارها و بررسی‌های مربوط به ضریب دبی در بخش نتایج و بحث و بررسی نهایی، براساس دو پارامتر شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی و همچنین بازشدگی نسبی انجام می‌شوند.

آنالیز ابعادی افت انرژی

برای بررسی میزان افت انرژی رخ داده در عبور جریان از تبدیل تدریجی سهموی و همچنین از دریچه سالونی بیضوی، تمامی پارامترهای مرتبط با میزان افت انرژی مورد نظر قرار گرفت.

$$f_4(E_1, E_2, Y_1, Y_2, R_1, R_2, B, B_g, \rho, g, \mu) = 0 \qquad (۹)$$

در رابطه فوق E_1 و E_2 به ترتیب انرژی مخصوص در بالادست و پایین‌دست دریچه می‌باشند و دیگر پارامترها قبلا معرفی شدند. سپس با استفاده از آنالیز ابعادی به روش پی باکینگهام و انتخاب متغیرهای ρ ، g و Y_1 بعنوان متغیرهای تکراری و به‌دست آوردن اعداد بی بعد و ترکیب آن‌ها، در نهایت اعداد بی بعد به‌دست آمد که در رابطه (۱۰) مشاهده می‌شوند.

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_5(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}, R_n, S) \qquad (۱۰)$$

در رابطه فوق $\frac{\Delta E}{E_1}$ نسبت افت انرژی رخ داده شده به انرژی مخصوص در بالادست تبدیل می‌باشد که در این تحقیق به اختصار به آن افت انرژی نسبی گفته می‌شود و دیگر پارامترها قبلا معرفی شدند. با همان توضیحاتی که در مرحله ضریب دبی ارائه شد، از پارامتر استغراق و عدد رینالدز صرف‌نظر شد و رابطه (۱۱) برای بررسی نهایی پارامتر افت انرژی به‌دست آمد.

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f_6(\frac{B_g}{B}, \frac{R_2}{R_1}) \qquad (۱۱)$$

بنابراین برای بررسی افت انرژی از رابطه فوق استفاده می گردد و رابطه بین افت انرژی نسبی با پارامترهای شعاع نسبی و بازشدگی نسبی دریچه مورد بررسی و آنالیز قرار می گیرد.

نتایج و بحث

در این قسمت با تحلیل نتایج به‌دست آمده از مدل نرم‌افزاری، پارامترهای مؤثر همچون ضریب دبی عبوری از دریچه سالونی با تبدیل تدریجی و نیز میزان افت انرژی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بررسی روند تغییر ضریب دبی

با استفاده از نتایج بدست آمده که از جدول (۲) استفاده شد، در این قسمت تغییرات ضریب دبی در مقابل تغییرات شعاع نسبی $R_r=R_2/R_1$ و بازشدگی نسبی B_g/B بررسی شده است.

DOI: 10.22055/JISE.2022.38726.1993

روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی

در این تحقیق ابتدا شبیه سازی مورد نظر انجام شد و با استفاده از رابطه (۳) ضریب دبی عبوری از دریچه سالونی بیضوی با حضور تبدیل تدریجی سهموی بدست آمد. سپس روند تغییر این پارامتر با شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی بدست آمد. شعاع نسبی ، که در واقع نسبت شعاع عرضی به شعاع طولی می باشد، بعنوان مهمترین پارامتر مورد توجه قرار گرفت که نتایج در شکل های (۴) تا (۶) مشاهده می شوند.

در شکل‌های (۴) تا (۶) حالت $(R_r=0)$ بیانگر حالت بدون حضور تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی می‌باشد. همان‌گونه مشاهده می‌شود با افزایش شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی بالادست، ضریب دبی افزایش می‌یابد. بطوری‌که تغییرات ضریب دبی در حالت تبدیل $R_r=o.5$ نسبت به حالت بدون تبدیل تغییر ناگهانی نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال در دبی ۴۵ لیتر برثانیه و در حالت $B_r=0.41$ مقدار ضریب دبی از ۱/۵۴ به ۱/۷۸ یعنی ۳۶ درصد افزایش را نشان می‌دهد. پس از آن میزان افزایش C_d با افزایش R_r کندتر می‌شود. مشابه همین روند را می‌توان برای نسبت‌های B_r برابر ۰/۴۵ و ۰/۴۹ نیز مشاهده کرد. میزان افزایش ضریب دبی در نسبت R_r برابر ۱ برای نسبتهای B_r برابر ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۹ به‌ترتیب برابر ۲۱/۵ درصد، ۱۳/۱ درصد و ۱۵ درصد می‌باشد و پس از آن تغییرات افزایشی ضریب بسیار کم هست. لازم به ذکر است با توجه به توضیحات بخش آنالیز ابعادی و استفاده از شکل (۲- ب) و همچنین نظر به ثابت بودن شعاع عرضی (R_1) برابر ۱۵ سانتی‌متر ، افزایش پارامتر R_r به معنای افزایش شعاع طولی و در نتیجه افزایش کشیدگی طولی تبدیل تدریجی سهموی می‌باشد. این امر بدان معناست که با افزایش R_r و در واقع با افزایش شعاع طولی تبدیل تدریجی سهموی و افزایش کشیدگی تبدیل طولی به سمت بالادست، ضریب دبی افزایش می‌یابد. این روند در تمامی دبی‌ها و در تمامی میزان بازشدگی‌های مورد بررسی مشاهده شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش دبی، ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد. در ادامه روند تغییر ضریب دبی با افزایش میزان بازشدگی بیان می‌گردد و در انتهای این بخش به بررسی کمی و درصد افزایش ضریب دبی در حالت‌های مختلف پرداخته می‌شود.

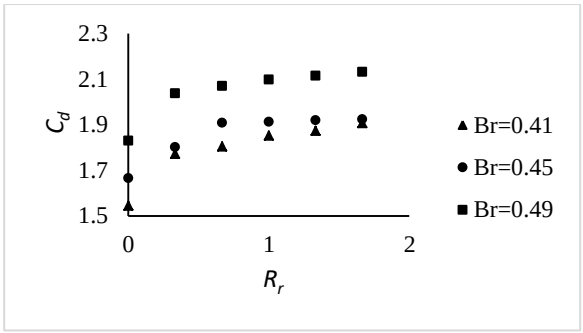


Fig. 4- The process of changing the flow coefficient by changing the relative radius in the flow of 25 liters l/s

شکل ٤- روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

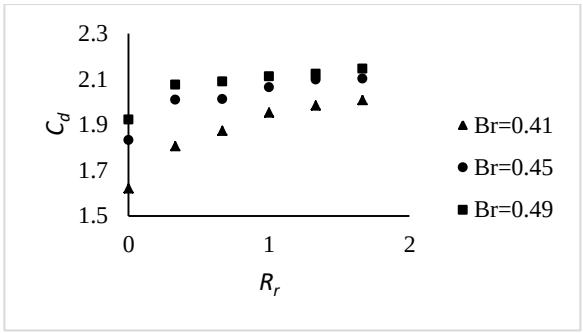


Fig. 5- The trend of changing the flow coefficient by changing the relative radius in the flow of 35 l/s

شکل ٥- روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

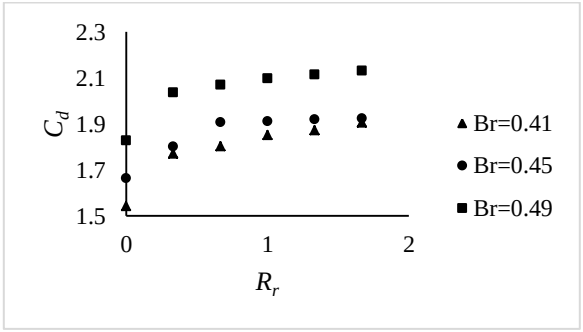


Fig. 6- The process of changing the flow rate by changing the relative radius in the flow of 45 l/s

شکل ٦- روند تغییر ضریب دبی با تغییر شعاع نسبی در دبی ٤٥ لیتر بر ثانیه

بررسی تغییرات ضریب دبی با افزایش بازشدگی دریچه

با توجه به اهمیت بازشدگی نسبی دریچه سالونی بیضوی، در این تحقیق روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی نسبی برای دبی‌های مختلف و در شعاع نسبی تبدیل تدریجی بالادست مختلف محاسبه شد که در ادامه این روند تغییرات مشاهده می‌شوند.

در شکل‌های (۷) و (۸) و (۹) مشاهده می‌شود که با افزایش بازشدگی نسبی دریچه سالونی بیضوی با حضور تبدیل تدریجی سهموی در بالادست، ضریب دبی بیشتر می‌شود. این روند در تمامی دبی‌های مورد استفاده در این تحقیق و همچنین در تمامی شعاع‌های نسبی مورد استفاده، مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است روند مشاهده شده در این مرحله با نتایج حاصل از مطالعه Pilbala et al. (2021) و Shafai bejestan et a. (2020) تطابق و هم‌خوانی دارد.

همچنین برای مقایسه با تحقیقات گذشته، نتایج تحقیق حاضر با مطالعه انجام شده توسط Sajjadi et al. (2020) مقایسه شد که نتایج آن در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود.

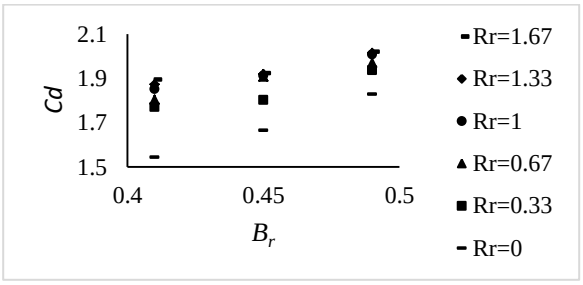


Fig. 7- The process of changing the flow rate by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 25 l/s

شکل ۷- روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریچه در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

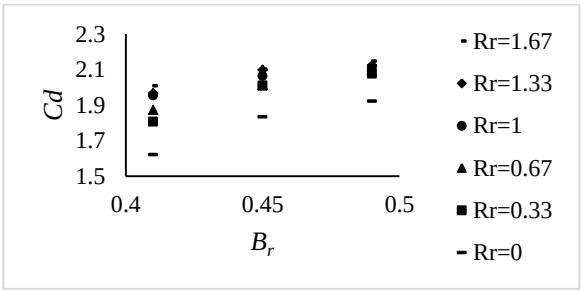


Fig. 8- The process of changing the flow coefficient by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 35 l/s

شکل ۸- روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریچه در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

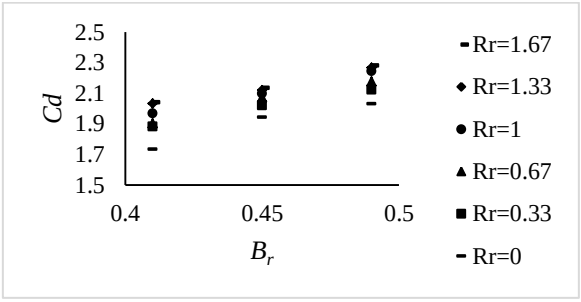


Fig. 9- Process of changing the flow coefficient by changing the relative opening of the gate in the flow of 45 l/s

شکل ۹- روند تغییر ضریب دبی با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریچه در دبی ٤٥ لیتر بر ثانیه

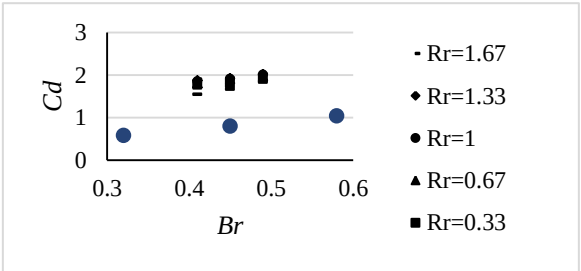


Fig. 10 - Comparison of discharge coefficient between states without gradual conversion and with the presence of parabolic gradual conversion

شکل ۱۰ – مقایسه ضریب دبی بین حالت بدون تبدیل تدریجی و با حضور تبدیل تدریجی سهموی

DOI: 10.22055/JISE.2022.38726.1993

در این بررسی مشاهده شد که ایجاد تبدیل تدریجی سهموی (مطالعه حاضر) در مقایسه با حالت بدون تبدیل تدریجی (مطالعه Sajjadi et. al. (2020)) می‌تواند تاثیر بسیار زیادی بر افزایش ضریب دبی عبوری داشته باشد.

برای بررسی کمی میزان تغییر ضریب دبی، دو نوع محاسبه‌ی درصد افزایش دبی، محاسبه شد. در نوع اول به بررسی درصد افزایش ضریب دبی در حالت بدون حضور تبدیل تدریجی سهموی و با حضور تبدیل تدریجی سهموی در حالت حداقل کشیدگی (R_r=0.33) پرداخته شد که رابطه درصد افزایش ضریب دبی به شکل رابطه (۱۲) می‌باشد.

$$\%\Delta Cd = \frac{Cd_{with\ transition(Rr=0.33)} - Cd_{without\ transition(Rr=0)}}{Cd_{without\ transition}} \times 100 \quad (۱۲)$$

در واقع رابطه (۱۲) بیانگر حداقل تاثیر حضور تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی می‌باشد. این رابطه برای ۳ دبی و در بازشدگی های مختلف محاسبه شد. نتایج نشان داد که با قرار دادن تبدیل تدریجی سهموی با حداقل کشیدگی، به طور متوسط در دبی های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه، ضریب دبی عبوری حداقل به میزان ۶ ، ۶/۴ و ۷/۲ درصد افزایش خواهد یافت. در ادامه برای بررسی همین روند در بازشدگی‌های مختلف، مشاهده شد که برای
بازشدگی‌های نسبی ۰/۴۱، ۰/۴۵ و ۰/۴۹ به ترتیب ضریب دبی حداقل به میزان ۸/۹ ، ۵/۷ و ۵ درصد افزایش یافت.

برای بررسی کمی اثر افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی (R_r) در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر ضریب دبی عبوری، و در واقع مقایسه ضریب دبی در حالت حداقل و حداکثر کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی در بالادست، از رابطه (۱۳) استفاده شد.

$$\%\Delta Cd = \frac{Cd_{with\ transition(Rr=1.67)} - Cd_{with\ transition(Rr=0.33)}}{Cd_{with\ transition(Rr=0.33)}} \times 100 \quad (۱۳)$$

مطابق این رابطه ضریب دبی عبوری در حالت حداقل و حداکثر کشیدگی در دبی‌ها و بازشدگی‌های مختلف مورد مقایسه و بررسی و ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش کشیدگی نسبی از۰/۳۳ تا ۱/۶۷ در دبی‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب، به طور متوسط به میزان ۲۱/۵، ۱۳/۴ و ۱۱/۵ درصد افزایش دبی رخ داد.

در ادامه نیز برای محاسبه حداکثر افزایش ضریب دبی در حالت حداکثر کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی و مقایسه آن با حالت بدون تبدیل تدریجی، از رابطه (۱۴) استفاده شد.

$$\%\Delta Cd = \frac{Cd_{with\ transition(Rr=1.67)} - Cd_{without\ transition(Rr=0)}}{Cd_{without\ transition}} \times 100 \quad (۱۴)$$

نتایج این بررسی نشان داد حداکثر افزایش ضریب دبی به میزان ۲۴ درصد رخ داد که در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی نسبی ۰/۴۱ رخ داد. برای بررسی علت افزایش ضریب دبی با کاهش نسبت R_r می‌توان از الگوی جریان که از خروجی های نرم افزار Flow-3D می باشد استفاده نمود که در ادامه‌ی این تحقیق به آن پرداخته خواهد شد.

بررسی روند تغییر افت انرژی نسبی

با توجه به نتایج آنالیز ابعادی افت انرژی، برای مشاهده روند تغییرات این پارامتر، باید روند تغییر افت انرژی نسبی با پارامترهای شعاع نسبی و بازشدگی نسبی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد که این بررسی‌ها در ادامه ارائه می‌شوند.

بررسی تغییرات افت انرژی نسبی با تغییر شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی

در این مرحله با استفاده از رابطه (۱۵) و با توجه به نتایج آنالیز ابعادی و رابطه (۱۱) ، انرژی مخصوص در بالادست و پایین‌دست سازه به‌دست آمد با تفاضل این دو و تقسیم بر انرژی در بالادست سازه، افت انرژی نسبی برای هر شبیه‌سازی به‌دست آمد.

$$E = Y + \frac{V^2}{2g} \quad (۱۵)$$

در ادامه روند تغییر این پارامتر با تغییر شعاع نسبی برای دبی‌های مختلف در شکل‌های زیر مشاهده می‌شوند.

مشاهده می‌شود با افزایش شعاع نسبی، افت انرژی نسبی افزایش خواهد یافت و این روند در تمامی دبی‌ها و همچنین تمامی نسبت‌های بازشدگی دریچه، مشاهده شد. در واقع با افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی به سمت بالادست و افزایش نسبت R_r افت انرژی نسبی کاهش خواهد یافت. این روند در تمامی دبی‌ها و در تمامی بازشدگی‌های نسبی مشاهده شد.

بررسی تغییرات انرژی مخصوص بدون بعد با افزایش بازشدگی

برای هر شبیه‌سازی، پس از محاسبه افت انرژی رخ داده، نسبت افت انرژی به انرژی مخصوص اولیه محاسبه شد و روند تغییر این پارامتر با تغییر میزان بازشدگی نسبی دریچه محاسبه شد. در ادامه شکل‌های (۱۱) تا (۱۶) روند تغییر این پارامتر در دبی‌های شبیه‌سازی شده مشاهده می‌شود.

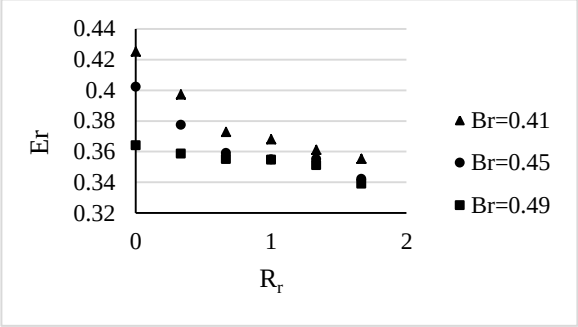


Fig. 11 - The trend of changing the relative energy drop with a relative radius of 25 l/s

شکل ۱۱- روند تغییر افت انرژی نسبی با شعاع نسبی در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

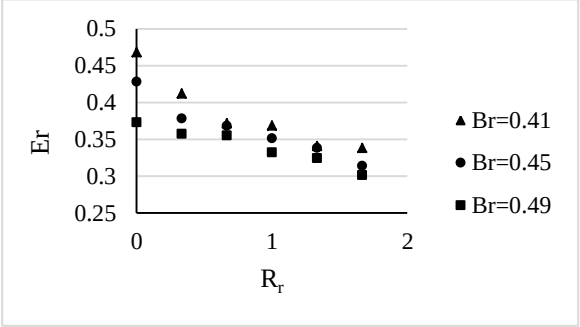


Fig. 12 - The trend of changing the relative energy drop with a relative radius of 35 l/s

شکل ۱۲- روند تغییر افت انرژی نسبی با شعاع نسبی در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

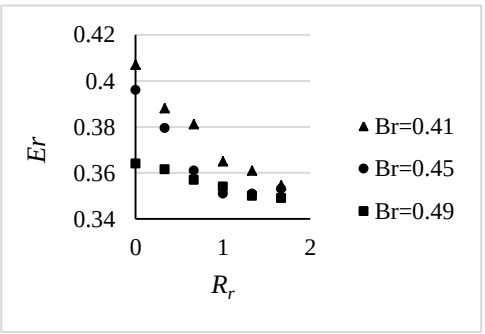


Fig. 13- The trend of changing the relative energy drop with a relative radius of 45 l/s

شکل ۱۳- روند تغییر افت انرژی نسبی با شعاع نسبی در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

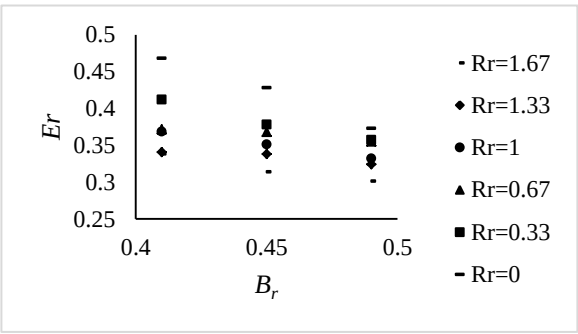


Fig. 14 - The trend of changing the relative energy drop by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 25 l/s

شکل ۱۴- روند تغییر افت انرژی نسبی با تغییر بازشدگی نسبی دریچه در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه

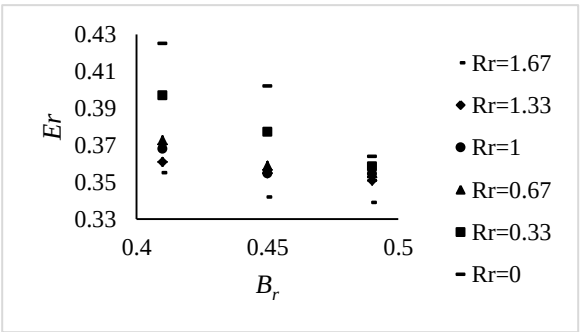


Fig. 15- The trend of changing the relative energy drop by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 35 l/s

شکل ۱۵- روند تغییر افت انرژی نسبی با تغییر بازشدگی نسبی دریچه در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه

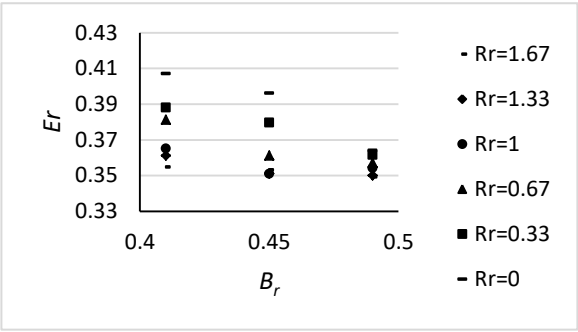


Fig. 16- The trend of changing the relative energy drop by changing the relative opening of the gate at a flow rate of 45 l/s

شکل ۱۶- روند تغییر افت انرژی نسبی با تغییر بازشدگی نسبی دریچه در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

DOI: 10.22055/JISE.2022.38726.1993

مشاهده می‌شود با افزایش میزان بازشدگی نسبی دریچه‌ی سالونی بیضوی، میزان افت انرژی جریان عبوری کاهش می‌یابد. این روند با نتایج مطالعات Pilbala et. al (2021) و Shafaei Bajestan (2020) تطابق و هم‌خوانی دارد.

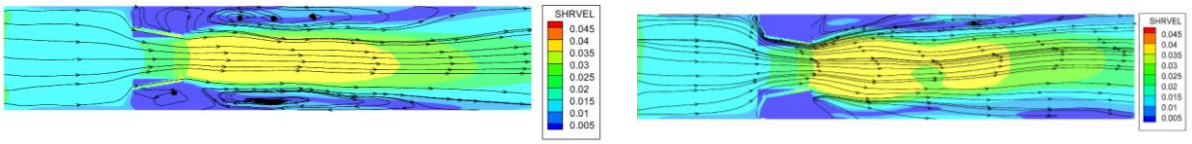
برای بررسی کمی میزان کاهش افت انرژی نسبی با کاهش نسبت R_r یا افزایش کشیدگی نسبی تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، با استفاده از رابطه (۱۴) میزان درصد کاهش افت انرژی نسبی با افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی به سمت بالادست محاسبه شد.

$$\%\Delta Er = \frac{Er_{without\ transition} - Er_{with\ transition}}{Er_{without\ transition}} \times 100 \quad (۱۴)$$

پس از انجام محاسبات مشاهده شد که در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی نسبی ۰/۴۱ و بیشترین میزان کشیدگی نسبی تبدیل تدریجی به سمت بالادست، افت انرژی نسبی به میزان ۲۷/۷ درصد در مقایسه با حالت بدون تبدیل تدریجی، کاهش یافته است. در ادامه برای بررسی علل رخ دادن این روند، به بررسی الگوی بردارهای جریان عبوری پرداخته می‌شود.

بررسی اثر تبدیل تدریجی سهموی بر خطوط جریان عبوری از دریچه سالونی بیضوی

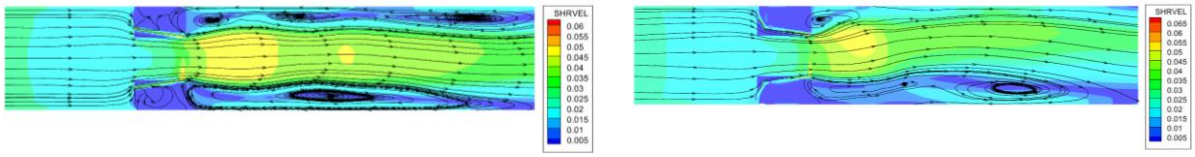
پس از بررسی روند تغییر پارامترهای اصلی با تغییر شعاع نسبی تبدیل تدریجی سهموی و همچنین تغییر عرض نسبی بازشدگی دریچه سالونی بیضوی، اقدام به بررسی خطوط جریان در بالادست و پایین‌دست در حالت بدون حضور تبدیل تدریجی سهموی و با حضور تبدیل گردید. در ادامه به عنوان نمونه برای چند شبیه‌سازی، این مقایسه انجام شد که در شکل‌های (۱۷) ، (۱۸) و (۱۹) برای دبی‌ها و بازشدگی‌های مختلف ارائه شده است.



(a): Flow pattern without gradual conversion
(a): الگوی جریان بدون تبدیل تدریجی

(b): Flow pattern with the presence of gradual conversion
(b): الگوی جریان با حضور تبدیل تدریجی

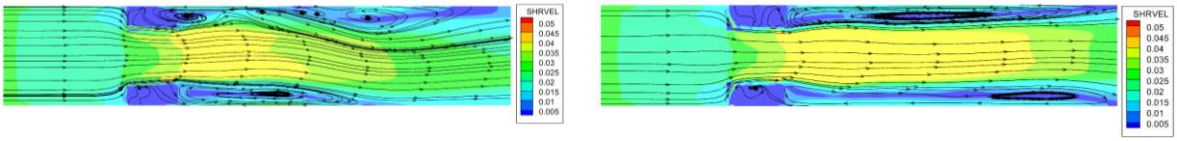
Fig. 17 - Comparison of the shape of flow lines for an opening of 32.8 cm and a flow of 25 l/s
شکل ۱۷- مقایسه شکل خطوط جریان برای بازشدگی ۳۲/۸ سانتی‌متر و دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه



(a): Flow pattern without the presence of gradual conversion
(a): الگوی جریان بدون حضور تبدیل تدریجی

(b): Flow pattern with the presence of gradual conversion
(b): الگوی جریان با حضور تبدیل تدریجی

Fig. 18 - Comparison of the shape of flow lines for an opening of 32.8 cm and a flow of 45 l/s
شکل ۱۸- مقایسه شکل خطوط جریان برای بازشدگی ۳۲/۸ سانتی‌متر و دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه



(a): Flow pattern without gradual conversion
(a): الگوی جریان بدون تبدیل تدریجی

(b): Flow pattern with the presence of gradual conversion
(b): الگوی جریان با حضور تبدیل تدریجی

Fig. 19 - Comparison of the shape of flow lines for an opening of 39.2 cm and a flow of 45 l/s
شکل ۱۹- مقایسه شکل خطوط جریان برای بازشدگی ۳۹/۲ سانتی‌متر و دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه

همان‌گونه که در شکل (۱۷-الف) نشان داده شده‌است، گردابه افقی در دوطرف و بالادست دریچه شکل می‌گیرد. در حالیکه در شکل (۱۷-ب) برای شرایط با تبدیل تدریجی سهموی این گردابه تشکیل نمی‌شود و خطوط جریان بدون جداشدگی از دیواره‌های به دریچه منتقل می‌شوند. علاوه براین در پایین‌دست نیز در شرایط بدون تبدیل تدریجی گردابه‌هایی در دو سوی جریان خروجی از دریچه و در طول نسبتا زیادی شکل می‌گیرد. دلیل عمده آن متمرکز شده و فشردگی ناگهانی خطوط جریان در بالادست و عبور آن‌ها از دریچه است که با افزایش عرض دریچه در بالادست تا فاصله زیادی خطوط جریان
نمی‌توانند به دیواره‌ها برگردند. در نتیجه این جدایش الگوی افقی نسبتا طولانی در پایین‌دست شکل می‌گیرد. در حالی‌که همان‌گونه که در شکل (۱۷-ب) دیده می‌شود، خطوط جریان پایین‌دست در فاصله کمتری به دیواره‌ها رسیده و سطح جداشدگی بسیار کمتر است و مسلماً قدرت گردابه افقی هم کمتر خواهد بود. با افزایش دبی جریان به ۴۵ لیتر بر ثانیه و برای بازشدگی یکسان، همان‌گونه که شکل (۱۸-الف) نشان می‌دهد، گردابه‌های افقی در دو سمت جت خروجی و با قدرت بیشتری شکل گرفته‌اند. البته به دلیل افزایش انرژی جنبشی خروجی آب، این گردابه‌ها با قدرت بیشتری نسبت به حالت دبی (۱۷-ب) در شرایط با حضور تبدیل تدریجی تشکیل می‌شوند که در شکل (۱۸-ب) نشان داده شده است. با مقایسه دو شکل (۱۸-الف) و (۱۸-ب) هم نشان می‌دهد که تبدیل تدریجی سهموی باعث کاسته شدن از سطح جدایش گردابه است که کاهش قدرت گردابه را به‌همراه دارد. در شکل (۱۹) که برای باز شدگی بیشتر از دو شکل (۱۷) و (۱۸) می‌باشد، تاثیر افزایش دبی خروجی و در نتیجه انرژی جنبشی را نشان می‌دهد. در مقایسه با شکل (۱۸)، مشخص هست که سطح جدایش افزایش یافته است. همچنین با بررسی انحنای الگوی جریان در بالادست دریچه‌ها در دو حالت بدون تبدیل و با تبدیل، مشاهده شد که میزان شکستگی و انحنای خطوط جریان در حالت با تبدیل تدریجی سهموی، کمتر از زمانی است که تبدیل به‌کار برده نشده است. لذا حضور تبدیل تدریجی باعث یکنواختی در حرکت جریان و کاهش انحنای بردارهای جریان شده که این امر نیز باعث افزایش ضریب دبی و کاهش میزان افت انرژی شده است.

نتیجه گیری

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D اقدام به شبیه‌سازی حضور تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی شده است. پس از بررسی‌های نرم‌افزاری و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی، مدل آشفتگی LES برای انجام انتخاب شد و شبیه‌سازی‌ها در دو حالت بدون تبدیل تدریجی و همچنین با حضور تبدیل تدریجی سهموی انجام شد. نتایج نشان داد که پس از قرارگیری تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، بردارهای جریان با انحنا و شکستگی کمتری وارد دریچه می شوند و تعداد و اندازه گردابه‌های بوجود آمده در پایین‌دست دریچه نیز کاهش می‌یابند. بنابراین با توجه به تغییرات ذکر شده، ضریب دبی افزایش می‌یابد و افت انرژی نیز کاهش می‌یابد. به‌گونه ای که با قرارگیری تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، افت انرژی نسبی حداکثر به میزان ۲۷/۷ درصد کاهش و ضریب دبی نیز حداکثر به میزان ۲۴ درصد افزایش یافت.

سپاسگزاری

این تحقیق مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم می باشد که با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده اول با شماره پژوهانه SCU.WH1400.470 تأمین شده است و بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌شود.

References

1- Aqua Systems 2000 Incorporation (AS21). Leaders in Water Management and Control. 2013; <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopacgate>; 2013.

2- Arab Ameri, M., Barfehi, M., 2016. Solve Navier-Stokes equations using networkless methods of radial basis functions. *Sea Techniques*, 3 (1), pp. 47-53. (In Persian).

3- Babaei Faqihmahaleh, R., Ismaili Varki, M. and Shafiee Sabet, B., 2018. Investigation of the effect of geometric characteristics and hydraulic conditions on the performance of the salon-partial flow flow adjustment structure. *Iranian Soil and Water Research, 49 (4)*, pp.727-717. (In Persian).

4- Bahrebar, A. R., Heidarnejad, M., Masjidi, A., Kaman Bedast, A. A., and Bordbar, A., 2018. Comparison of flow rate in congressional overflows with different geometries using Flow-3D software and laboratory model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 12 (4), pp. 982-993. (In Persian).

5- Gómez, M., Rodellar, J. and Mantecon, J.A., 2002. Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals. *Applied Mathematical Modelling*, *26*(11), pp.1039-1056. Doi: 10.1016/S0307-904X(02)00059-8.

6- Kaheh, M., Dehghani, A. A., Kaheh, M. and Zahiri, A., 2015. Hydraulic flow simulation in overflow-valve composite structures using Flow3D software. *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 22 (1), pp. 111-129. doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007. (In Persian).

7- Kheibar, H., and Sajjadi, S. M., and Ahadian, J., 2020. Investigation of energy consumption and flow through the elliptical lopac gate in the presence of sudden conversion. *Water and Soil Science*, 24 (3), pp. 83-95. Doi: doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007. (In Persian).

8- Kheybar, H., Sajjadi, S. M., and Ahadyan, J., 2021. Effect of sudden canal contraction on the discharge coefficient and the energy dissipation coefficient of the elliptical LOPAC gate. *Irrigation and Drainage*. doi.org/10.1002/ird.2622.

9- Monem, M. J, Hosseinzadeh, Z., 2012. Development and testing of an automatic hinged overflow mathematical model with PID logic. *Iranian Soil and Water Research*, 43 (1), pp. 87-94. (In Persian).

10- Naghai, R, Monem, M. J., Hashemi Shahdani, S. M., 2016. Investigation of different hydraulic conditions and operation of saloon valves and development of structural mathematical model in accordance with ICSS hydrodynamic model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 10 (1), pp. 24-35. (In Persian).

11- Naghaei, R. and Monem, M.J., 2016. Development of a mathematical model of Lopac gates in accordance with the ICSS hydrodynamic model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, *142*(10), pp.04016043. doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001066.

12- Pilbala, A., Sajjadi, S. and Bejestan, M.S., 2021. Hydraulic performance of elliptical-LOPAC gate under submerged flow conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, *12*(1), pp.317-326. doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007.

13- Sajjadi, S. M., Kheibar, H. and Ahadian, J., 2020. Investigation of the effect of sudden channel conversion on elliptical lopac gate discharge coefficient under submerged flow conditions. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14 (1), pp. 115-124. (In Persian).

14- Sajjadi, M., Neysi, M., and Shafai bajestan, M., 2021. Experimental Investigation of Hydraulic Conditions of Elliptical and Rectangular Lopac Gate In free Flow Conditions, *Iranian Water Research Journal*, 14(39), pp. 1-8. (In Persian).

15- Shafaei Bajestan, M., Zeinivand, M., Tahmasebipour, M., 2020. Elliptical lopac gate discharge coefficient with gradual conversion in submerged conditions. *Journal of Hydraulics*, 15 (2), pp. 67-80. Doi: 10.30482/JHYD.2020.225028.1449 .(In Persian).

16- Yousefvand, F., Monem, M. J. and Kavianpour, M.R., 2018(a). Laboratory study of the effect of immersion and input conversion on the flow-discharge relations of the saloon valve. *Iranian Soil and Water Research*, 49 (5), pp. 1095-1106. (In Persian).

17- Yousefvand, F., Monem M. J. and Kavianpour, M. R., 2018(b). Estimation of flow equations and discharge coefficient of lopac gate in submerged conditions, using momentum relation. *Iranian Water Research*, 12 (29). Pp. 51-58. (In Persian).

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

19- Zamiri, E., Karami, H., and Farzin, S., 2020. Studying the effect of shape changes in plan of labyrinth weir on increasing flow discharge coefficient using Flow-3D numerical model. *Irrigation Sciences and Engineering*, *43*(1), pp. 101-116. DOI: 10.22055/jise.2018.22395.1604. (In Persian).