



Numerical hydraulic and hydrodynamic investigation of flow passing through multiple elliptic lopac gates with Flow 3D software

Tuba Taheri Talavari¹ , Seyed Mohsen Sajjadi² , Javad Ahadiyan³ , Hossein Azizi Nadian⁴ 

¹ M.Sc. Student of Water and Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran . E-mail: Toobataheri78220@gmail.com

² Corresponding Author, Associate Professor of Department of Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.sajjadi@scu.ac.ir

³ Professor of Department of Water Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: j.ahadiyan@scu.ac.ir

⁴ Ph.D Student, Department of Civil Environmental Architectural Engineering and Mathematics, University of Brescia, Bre-scia, Italy. E-mail: hossein.azizinadian@unibs.it

ABSTRACT

Measuring and controlling flow in conduits is one of the most important issues in the management and operation of irrigation and drainage systems. Investigations on this issue are of great importance for cost-effectiveness and ease of operation, construction, as well as increasing the accuracy of flow measurement and control. In this research, the hydraulic parameters of the flow on multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions have been investigated. This study was done using Flow3D fluid dynamics simulation software. The simulations are performed in three flow rates 20, 40, and 60 liters per second, three opening rates 30, 45, and 60 degrees and three absorption rates 70, 80, and 90 percent. The maximum flow velocity, discharge coefficient and flow vortices are investigated, and their analysis is described. Regarding the maximum velocity, the results showed that when using lopac elliptic gates in submerged conditions compared to free flow conditions, the maximum velocity in the flow rates (20, 40 and 60) liters per second in the opening of 30 degrees on average for the amount of absorption (70, 80, and 90) percent will decrease by 9, 30, and 54 percent, respectively, at 45-degree opening, by 8, 22, and 38 percent, and at 60-degree opening, by 12, 22, and 44 percent, respectively. The results regarding the Discharge coefficient showed that when multiple lopac elliptic gates are used in submerged conditions compared to free flow conditions, the Discharge coefficient in the flow rates of (20, 40, and 60) liters per second in the opening of 30 degrees on average For the extraction rate (70, 80 and 90) percent, 8, 26 and 45%, respectively, at 45 degree opening, 16, 34 and 49%, respectively, and at 60 degree opening, 17, 36 and 54%, respectively will find Finally, the observations showed that when multiple elliptic lopac gates are used in free flow conditions, high-strength vortices are formed compared to multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions. However by examining the flow pattern of multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions, the size of the eddies has decreased, and as a result, its strength has decreased.

Keywords: Elliptic lopac gate, Velocity, Discharge coefficient, Vortex, Flow3D

Article Type: Research Article

Article history: Received: 17 April 2024 Revised: 29 June 2024 Accepted: 27 July 2024 ePublished: 22 September 2024

1. Introduction

One of the water level control and regulation structures is lopac gates, which is known as a dam or flow depth control structure. lopac gates are in the form of two rectangular sheets that are connected to the channel wall. This structure has the ability to adjust the water level upstream of the valve and regulate the distribution of passing water downstream of the valve in different flow rates and openings. lopac gates are divided into rectangular and elliptic categories.

2. Methodology

2.1. Experimental model

The experiments conducted by (Pilbala et al, 2021) were conducted on an open rectangular channel with a length of 10 meters, width and height of the laboratory channel equal to 0.8 meters, with a horizontal rectangular channel bed slope and at Shahid Chamran University of Ahvaz. In total, the laboratory model in 45 tests considering three flow rates (25, 35, and 45 liters per second), five opening angles (35, 40, 45, 50, and 52.5 degrees), and three intake ratios (70, 80 and 90 percent) by (Peel Bala et al., 2021).

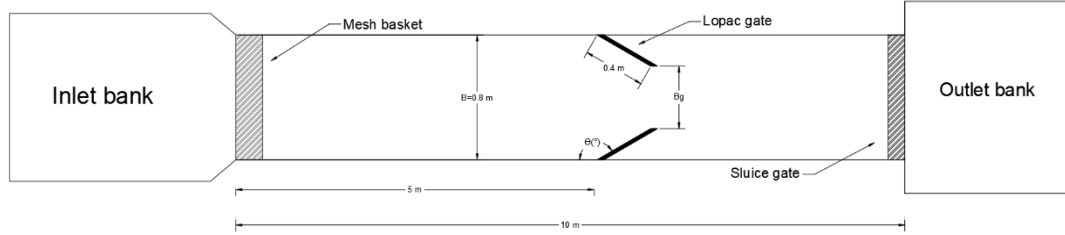


Figure 1: Overview of the laboratory flume (Peel Bala et al., 2021)

2.2. Verification of the physical model

In this research, in order to validate and increase accuracy in numerical simulation results of a rectangular Lopac gate (Pilbala et al., 2021) with a flow rate of 25 liters per second, an opening of 35 degrees and an extraction rate of 70% in the number of mesh cells and different turbulence models were simulated in Flow3D and compared with laboratory data. The results show that among the simulations regarding the selection of the number of meshing cells and different disturbance models, the best performance, compared to the measured laboratory data, is by RNG models, and the number of meshing cells is 1000000. The RNG disturbance model and the number of meshing cells used for all simulations were used in the results of this research. Also, according to the convergence diagram, 40 seconds of time was used for the purpose of simulation.

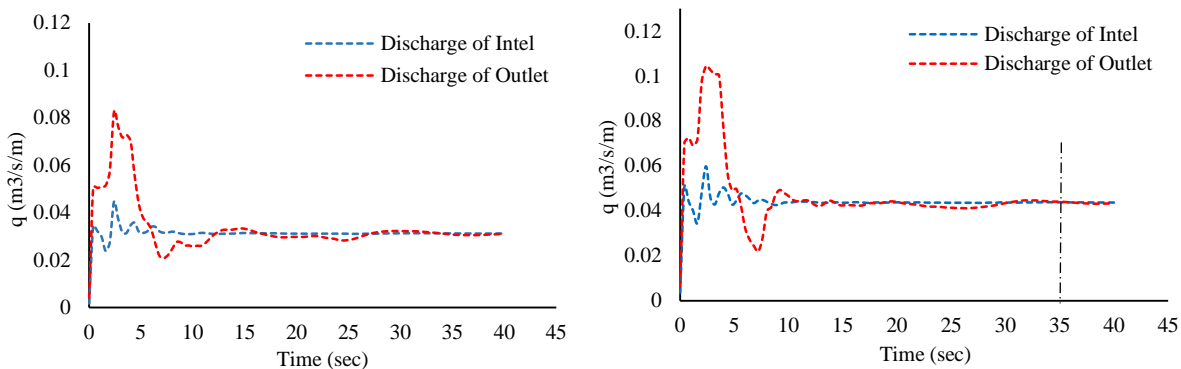


Figure 2. Time changes with flow rate per unit width (q) at the entrance and exit of the simulation area for 45 degree opening, 70% absorption and flow rate a) 25 liters/second b) 35 liters/second

3. Results and discussion

3.1. The effect of changes in Froude number (Fr) on maximum velocity (V_{max})

When using multiple elliptic lopac gates in submerged flow mode, the range of velocity distribution and numerical values of velocity are reduced compared to multiple elliptic lopac gates in free flow conditions. It can be seen that with the increase of the Froude number in fixed openings, the maximum velocity value has increased, and also with the increase of the opening angle of the valve (reduction of narrowness), this parameter has been continuously increased. It can be seen that the maximum velocity value has an inverse relationship with the absorption percentage. In such a way that with the increase in the absorption percentage of the current, the maximum velocity decreases continuously. Investigations show that the maximum flow velocity created on multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions is far lower than when multiple elliptic lopac gates are used in free flow conditions.

3.2. Effect of dimensionless opening (bg/B) on discharge coefficient (C_d)

It can be seen that the value of the flow coefficient during the operation of multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions was lower than that of multiple elliptic lopac gates in free flow conditions. Evaluations show that when multiple elliptic lopac gates are used in submerged flow conditions, compared to multiple elliptic lopac gates in free flow conditions, the flow coefficient at the opening of 30 degrees, on average, in flow rates of (20, 40, and 60) liters per second for the absorption rate of (70, 80 and 90) percent, respectively 8, 26 and 45 percent, in the opening of 45 degrees, in the flow rates of (20, 40 and 60) liters per second for the absorption rate of (70, 80 and 90) percentages are 16, 34 and 49%, respectively, and at 60-degree opening, at flow rates of (20, 40 and 60) liters per second, for the amount of absorption (70, 80 and 90)%, respectively, 17, 36 and 54% will be reduced.

3.3. Flow pattern in multiple elliptic lopac gates

It was found that when multiple elliptic lopac gates are used in free flow conditions, high-strength vortices are formed compared to multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions. This phenomenon can cause problems such as increased energy loss, reduced water absorption rate, reduced efficiency of hydraulic machines, and their improper performance. However by examining the flow pattern of multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions, the size of the vortices has decreased and as a result, its strength has decreased.

4. Conclusions

In this research, using laboratory data and Flow3D software, the effect of using multiple elliptic lopac gates in submerged flow conditions compared to multiple elliptic lopac gates in free flow conditions, maximum flow velocity, flow coefficient, and flow vortices were evaluated. The results showed that the maximum velocity have a direct relationship with the Froude number and the opening angle. Investigations showed that the flow coefficient (Cd) has a direct relationship with the flow rate and gate opening value. The results showed that the flow is diverted to the center or around the channel when passing through multiple elliptic lopac gates, which creates large vortices with high longitudinal elongation near the flume wall.

5. References

Pilbala, A., Shafai Bejestan, M., Sajjadi, S. M., & Fraccarollo, L. (2023). Investigation of the Different Models of Elliptical-Lopac Gate Performance under Submerged Flow Conditions. *Water Resources Management*, 37(9), 3527-3542. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03512-1>

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Cite this article: Taheri Talavari, T., Sajjadi, S.M., Ahadiyan, J., & Azizi Nadian, H. (2024). Numerical hydraulic and hydrodynamic investigation of flow passing through multiple elliptic lopac gates with Flow 3D software, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(3), 40-60. DOI: 10.22126/ATWE.2024.10747.1127

Publisher: Razi University

© The Author(s).





فناوری های پیشرفته در بهره وری آب



شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۹۶۴

وبگاه نشریه: <https://atwe.razi.ac.ir>

بررسی عددی هیدرولیکی جریان عبوری از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق

طوبی طاهری طلاوری^۱، سید محسن سجادی^۲ ✉، جواد احدیان^۳، حسین عزیزی نادیان^۴

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: Toobataheri78220@gmail.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.sadjadi@scu.ac.ir

^۳ استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: j.ahadiyan@scu.ac.ir

^۴ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی معماری و ریاضیات محیط‌زیست عمران، دانشگاه برشیا، برشیا، ایتالیا. رایانامه: hossein.azizinadian@unibs.it

چکیده

اندازه‌گیری و کنترل جریان در مجراها یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت و بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری و زهکشی است. بررسی‌ها بر روی این موضوع جهت به‌صرفه نمودن و سهولت در بهره‌برداری، ساخت و همچنین افزایش دقت اندازه‌گیری و کنترل جریان از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش به بررسی اثر پارامترهای هیدرولیکی جریان بر روی دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق پرداخته شده است. این بررسی با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی دینامیک سیالات Flow3D انجام شده است. شبیه‌سازی‌ها در سه دبی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه، سه میزان بازشدگی ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و سه میزان استغراق ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد انجام شده است. سرعت حداکثر جریان، ضریب دبی و گردابه‌های جریان بررسی شده و تجزیه و تحلیل آن تشریح شده است. در بررسی نتایج سرعت حداکثر جریان یافت شد که استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط مستغرق در مقایسه با شرایط جریان آزاد، سرعت حداکثر در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه، در بازشدگی ۳۰ درجه، به‌طور متوسط برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۹، ۳۰ و ۵۴ درصد، در بازشدگی ۴۵ درجه، به ترتیب ۸، ۲۲ و ۳۸ درصد و در بازشدگی ۶۰ درجه، به ترتیب ۱۲، ۲۲ و ۴۴ درصد، کاهش یافت. نتایج در خصوص ضریب دبی نشان داد که در زمان استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط مستغرق در مقایسه با شرایط جریان آزاد، ضریب دبی در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه، در بازشدگی ۳۰ درجه، به‌طور متوسط برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۸، ۲۶ و ۴۵ درصد، در بازشدگی ۴۵ درجه، به ترتیب ۱۶، ۳۴ و ۴۹ درصد و در بازشدگی ۶۰ درجه، به ترتیب ۱۷، ۳۶ و ۵۴ درصد، کاهش خواهد یافت. در نهایت مشاهدات نشان داد که در هنگام استفاده از دریچه سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد گردابه‌هایی با قدرت بالا نسبت به دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق به وجود می‌آید؛ اما با بررسی الگوی جریان دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق، وسعت گردابه‌ها کاهش یافته و در نتیجه از قدرت آن کاسته شده است.

واژه‌های کلیدی: دریچه سالونی بیضوی، سرعت، ضریب دبی، گردابه، Flow3D

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۹ فروردین ۱۴۰۳ اصلاح: ۰۹ تیر ۱۴۰۳ پذیرش: ۰۶ مرداد ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ مهر ۱۴۰۳

استناد: طاهری طلاوری، ط، سجادی، س.م، احدیان، ج، و عزیزی نادیان، ح. (۱۴۰۳). بررسی عددی هیدرولیکی جریان عبوری از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق، فناوری‌های پیشرفته در بهره‌وری آب، ۴(۳)، ۴۰-۶۰. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10747.1127



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه رازی

مقدمه

اندازه‌گیری و کنترل جریان در مجراها یکی از مهم‌ترین مسائل در مدیریت و بهره‌برداری از سیستم‌های آبیاری و زهکشی است. بررسی‌ها بر روی این موضوع جهت به‌صرفه نمودن و سهولت در بهره‌برداری، ساخت و همچنین افزایش دقت اندازه‌گیری و کنترل جریان ادامه دارد. (عباسی و ولیزادگان، ۱۴۰۲) انواع دریاچه‌ها و سرریزها به‌طور عمده در اندازه‌گیری جریان عبوری و کنترل سطح آب در کانال‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. از طرفی باتوجه‌به اینکه عملکرد این سازه‌های در افزایش راندمان و بهبود عملکرد سیستم‌های آبرسانی و شبکه‌های توزیع جریان اثر مستقیمی دارند، انجام پژوهش‌ها در زمینه دریاچه‌ها و سرریزها موردتوجه قرار گرفته است (نجم و همکاران^۱، ۲۰۰۲، و کارولو و همکاران^۲، ۲۰۱۳).

دریاچه‌های سالونی یکی از انواع سازه‌های کنترل و تنظیم سطح آب بوده که به‌عنوان آب‌بند یا سازه کنترل عمق جریان مطرح است. دریاچه‌های سالونی به‌صورت دو ورق مستطیلی شکل بوده که به دیواره کانال متصل می‌شود و قابلیت تنظیم سطح آب در بالادست دریاچه و تنظیم توزیع آب عبوری در پایین‌دست دریاچه را در دبی‌ها و بازشدگی‌های مختلف دارا است (اود و کینزلی^۳، ۲۰۰۶). دریاچه‌های سالونی به دو دسته مستطیلی و بیضوی تقسیم شده که دریاچه‌های سالونی مستطیلی اولین بار توسط (لانگمن و همکاران^۴، ۱۹۸۰) و دریاچه‌های سالونی بیضوی اولین بار توسط (کاکس و همکاران^۵، ۲۰۱۴) بررسی شده‌اند.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش به مروری بر پژوهش‌های مرتبط با دریاچه‌ها و به‌ویژه دریاچه سالونی پرداخته می‌گردد. آکوا سیستم^۶ (۲۰۰۰) برای ارائه یک راه‌حل کارآمد و به‌صرفه باهدف کنترل جریان در کانال‌هایی با ابعاد متفاوت دریاچه سالونی، روابطی را به جهت محاسبه و تخمین دبی و ضریب آبگذری در شرایط جریان آزاد و مستغرق با آستانه درجه استغراق ۰/۳ ارائه دادند. نگم و همکاران^۷ (۲۰۰۶) به مطالعه اثر عملکرد چند دریاچه بر روی الگوی سرعت در پایین‌دست در شرایط جریان مستغرق پرداختند. نتایج نشان داد که الگوی سرعت بر عملکرد دریاچه‌ها، به نوع آن (اصلی یا اضطراری)، نسبت استغراق و عدد فرود در ناحیه انقباض بستگی دارد. کاکس و همکاران^۸ (۲۰۱۴) به‌منظور بهبود راندمان، اندازه‌گیری دقیق دبی جریان، عبور آسان آلودگی و زباله و همچنین کاهش هزینه‌های نگهداری دریاچه‌های سالونی مستطیلی، یک سرریز نوک‌تیز بیضوی شکل را با نام دریاچه‌های سالونی بیضوی معرفی نمودند. آن‌ها همچنین برخی ضرایب و توان برای معادله دبی - اشل پیشنهادی ارائه کردند. شادهی و همکاران^۹ (۲۰۲۰) به مطالعه تجربی بر روی جت‌های آزاد و مستغرق پرداخته و با استفاده از تحلیل باکینگهام، مرتبط با پرش هیدرولیکی آزاد یک فرمول کلی برای تخمین ضریب تصحیح حرکت در مکان‌های مختلف اندازه‌گیری پایین‌دست پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد که فرمول به‌دست‌آمده در دریاچه‌های نصب‌شده به‌صورت موازی تمایز بین شرایط جریان آزاد و مستغرق را افزایش می‌دهد. پیل بالا و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی دریاچه سالونی بیضوی در شرایط مستغرق پرداخته شد. در این تحقیق تعداد ۹۰ آزمایش در شرایط مختلف دبی و بازشدگی دریاچه 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 دریاچه به میزان ۲۰ درصد افزایش یابد. خیبر و همکاران^{۱۱} (۲۰۲۱) به بررسی اثر تأثیر تنگ‌شدگی ناگهانی مقطع بر روی عملکرد هیدرولیکی دریاچه‌های سالونی بیضوی در دبی‌ها و استغراق‌های مختلف پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که ضریب آبگذری با میزان استغراق دریاچه و انقباض کانال رابطه غیرمستقیم داشته و با بازشدگی دریاچه رابطه مستقیم دارد. پیل بالا و همکاران^{۱۲} (۲۰۲۳) به بررسی مدل‌های مختلف عملکرد دریاچه سالونی بیضوی تحت شرایط جریان مستغرق پرداختند. آنان مقادیر استهلاک انرژی، ضریب آبگذری و ضریب اتلاف انرژی را در دبی‌ها، بازشدگی‌ها و نسبت‌های بیضوی مختلف موردبررسی قرار دادند.

¹ negm et al

² Carollo et al

³ oad and kinzli

⁴ Langeman et al

⁵ Cox et al

⁶ Aqua Systems

⁷ Negm et al

⁸ Cox et al

⁹ Shaddehi et al

¹⁰ Pilbala et al

¹¹ Kheybar et

¹² Pilbala et al

یوسف‌وند و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه آزمایشگاهی و ارائه روابطی مناسب برای محاسبه و تخمین ضریب آبگذری دریچه‌های سالونی مستطیلی در شرایط جریان مستغرق و تحلیل مقادیر آن پرداختند. شفاعی بجستان و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی ضریب دبی دریچه سالونی بیضوی همراه با تبدیل تدریجی در شرایط مستغرق پرداختند. نتایج نشان داد که با قرارگیری تبدیل تدریجی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، ضریب دبی افزایش می‌یابد. مبارک و همکاران (۱۴۰۰) به مطالعه عددی تأثیر نسبت‌های کشیدگی بیضوی مختلف بر عملکرد هیدرولیکی دریچه سالونی بیضوی پرداختند. بررسی‌ها نشان داد که نسبت بیضوی با میزان استهلاک انرژی، سرعت و تنش برشی رابطه معکوس داشته است. همچنین در نسبت‌های بیضوی بزرگ‌تر از یک گردابه‌ها و انحراف جریان از مسیر کاهش خواهد یافت.

شفاعی بجستان و همکاران (۱۴۰۱)، به بررسی اثر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر روی پارامترهای هیدرولیکی (ضریب دبی و افت انرژی) پرداختند. نتایج نشان داد پس از قرارگیری تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی، میزان افت انرژی نسبی جریان عبوری از دریچه به میزان $27/7\%$ درصد کاهش می‌یابد. کرم دخت بهبهانی و همکاران (۱۴۰۲)، به بررسی عددی هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان عبوری از دریچه‌های سالونی مستطیلی چندگانه با نرم‌افزار Flow3D شده است. در بررسی کیفی گردابه‌های جریان نیز بررسی‌ها نشان داد، در زمان استفاده از دو دریچه، وسعت گردابه، کشیدگی و قدرت آن نسبت به حالت تک دریچه کاهش یافته و تعداد گردابه‌ها در مقایسه با زمانی که از تک دریچه استفاده می‌شود، افزایش می‌یابد.

فتحی و همکاران (۱۴۰۲)، به بررسی تأثیر استغراق‌های مختلف بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در دریچه سالونی مستطیلی چندگانه پرداخته شده است. بررسی پیشینه سرعت نتایج نشان داد که این پارامتر با میزان استغراق رابطه‌ی عکس دارد به‌گونه‌ای که با افزایش استغراق، پیشینه سرعت کاهش پیدا می‌کند که این میزان کاهش در حالت دو دریچه $7/87\%$ درصد نسبت به حالت تک دریچه هست. کرم دخت بهبهانی و همکاران (۱۴۰۳)، به بررسی پارامترهای مؤثر هیدرولیکی نظیر (سرعت و استهلاک انرژی) دریچه‌های سالونی مستطیلی چندگانه در حالت مستغرق با میزان استغراق 70% پرداختند. نتایج نشان داد که در حالت مستغرق سرعت پیشینه و استهلاک نسبت به حالت آزاد در تمامی آزمایش‌ها به‌طور متوسط به ترتیب $31/55\%$ و $61/04\%$ کاهش می‌یابد.

باتوجه به موارد فوق، مشخص است که تاکنون مطالعات مرتبط با دریچه‌های سالونی به‌طور عمده در حالت تک دریچه انجام شده است، از این رو نیاز به بررسی اثر استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق بر پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند (سرعت، استهلاک انرژی، ضریب دبی و گردابه‌های جریان) احساس گردید؛ بنابراین، مطالعه حاضر باهدف بررسی اثر پارامترهای هیدرولیکی بر روی دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق انجام می‌گردد، به‌طوری‌که دو سناریو به‌صورت عددی توسط نرم‌افزار FLOW3D مدل‌سازی شد. سناریوی اول، دریچه سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد بوده و سناریوی دوم، دریچه سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق است که در میزان بازشدگی‌های یکسان (۳۰، ۴۵ و ۶۰) درجه طراحی شده و با مشخصات و شرایط هیدرولیکی برابر مدل‌سازی شده‌اند. با انجام این پژوهش هدف افزایش کارایی و همچنین ارتقا و صرفه‌جویی در هزینه‌های طراحی و ساخت، در شبکه انتقال آب دنبال می‌شود تا بتواند بیش‌تری نسبت به عملکرد و رفتار هیدرولیکی در زمینه دریچه‌های سالونی به دست آید. همچنین عملکرد دریچه سالونی بیضوی چندگانه در دو حالت آزاد و مستغرق در مقایسه با سایر تحقیقات گذشته ارزیابی و امکان استفاده از آن در شبکه‌های انتقال آب برای کنترل سطح آب بررسی می‌گردد. در نهایت این یافته‌ها اهمیت استفاده از CFD را به‌عنوان ابزاری برای حمایت از تصمیم‌گیری و طراحی سازه‌های هیدرولیکی برجسته می‌کنند.

روش پژوهش

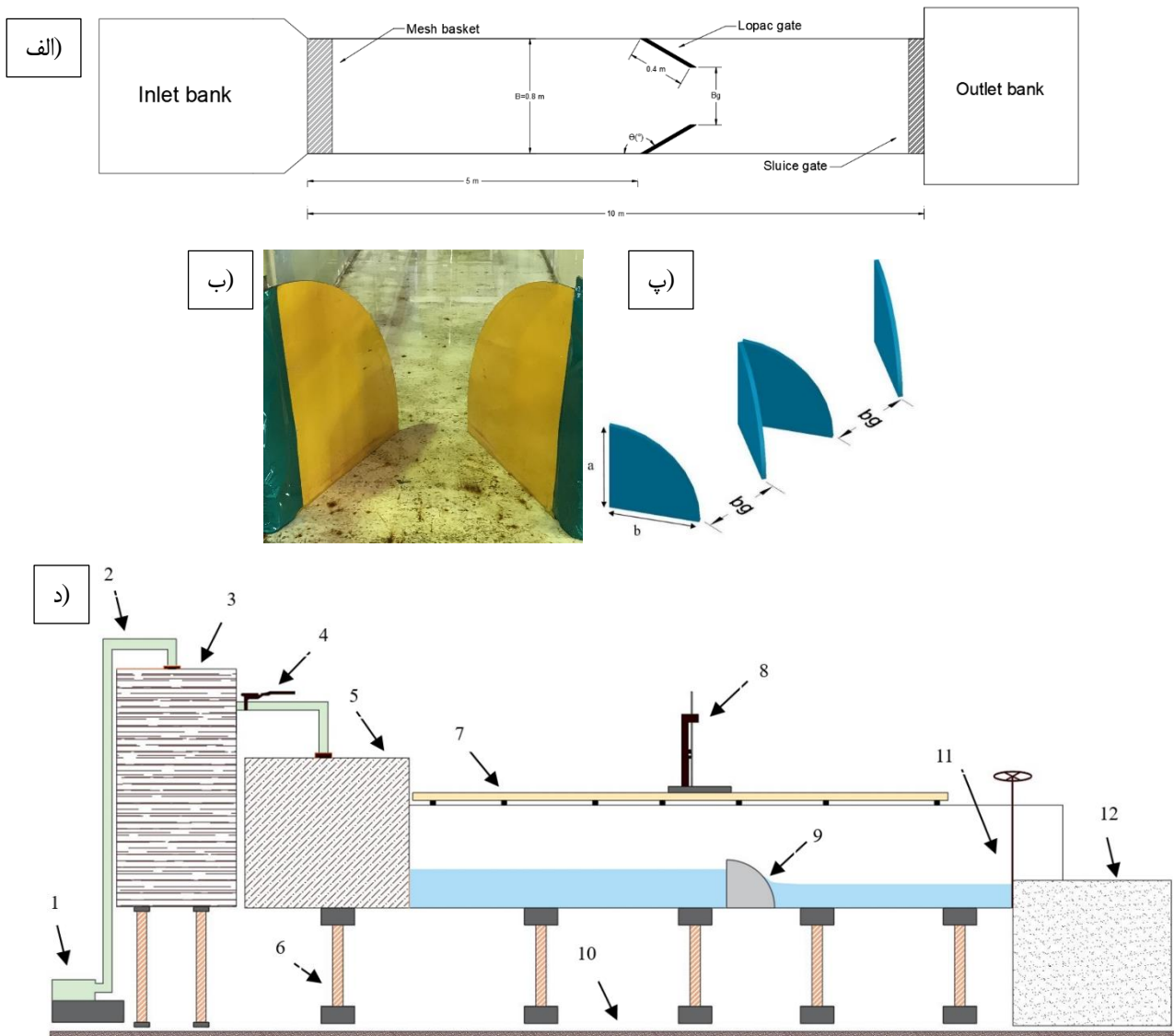
مشخصات مدل آزمایشگاهی

به‌منظور دستیابی به اهداف پژوهش حاضر، در گام اول به‌منظور جمع‌آوری داده‌های آزمایشگاهی موردنیاز از آزمایش‌های صورت‌گرفته بر روی یک کانال مستطیلی باز به طول ۱۰ متر، عرض و ارتفاع کانال آزمایشگاهی برابر $0/8$ متر، دارای شیب بستر کانال مستطیلی افقی و در دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده توسط (پیل بالا و همکاران^۱، ۲۰۲۱) استفاده شد که در شکل (۱-الف) قابل مشاهده است. در جدول (۱) به معرفی جزئیات فلوم آزمایشگاهی موردبررسی پرداخته شده است. سازه دریچه از ورق گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر ساخته شده و در فاصله $4/1$ متری از انتهای بالادست نصب می‌شود.

¹ Pilbala et al

جدول ۱. مشخصات فلوم آزمایشگاهی

شماره	نام	شماره	نام
۱	واحد پمپاژ	۷	ریل
۲	لوله انتقال آب	۸	عمق سنج
۳	مخزن ذخیره بالادست	۹	دریچه سالونی بیضوی
۴	شیر کنترل تخلیه	۱۰	سطح زمین
۵	مخزن ورودی	۱۱	دریچه کشویی
۶	ستون فلوم	۱۲	مخزن خروجی



شکل ۱: الف: نمای کلی فلوم آزمایشگاهی ب: نمای دریچه سالونی بیضوی آزمایشگاهی ب: نمای سه بعدی مدل سه بعدی دریچه سالونی بیضوی چندگانه د: نمای جانبی فلوم آزمایشگاهی و جزئیات آن

شکل (۱-الف) نمای پلان فلوم آزمایشگاهی موردبررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد. یک مخزن متصل به فلوم جهت تأمین آب موردنیاز قرار دارد. در ابتدای فلوم از یک آرام‌کننده به جهت کنترل نوسانات جریان استفاده شده و در انتهای آن از یک دریچه کشویی برای تنظیم استغراق جریان استفاده شده است. شکل‌های (۱-ب) دریچه‌های سالونی شبیه‌سازی شده در آزمایشگاه را در مدل بیضوی نشان می‌دهد. شکل (۱-پ) نمای سه‌بعدی دریچه سالونی بیضوی چندگانه را نشان می‌دهد. در این پژوهش نسبت بیضوی به صورت (a/b) نشان داده شده است. در شکل (۱-د) نمای جانبی فلوم آزمایشگاه به همراه جزئیات آن مانند عمق سنج، مخزن ورودی، مخزن خروجی، پمپ انتقال جریان و ... که در جدول (۱) آورده شده، معرفی گردیده است. در آزمایش‌های صورت گرفته دبی ورودی توسط دستگاه اولتراسونیک اندازه‌گیری شد. همچنین قابل مشاهده است که دریچه سالونی در فاصله ۵ متری نسبت به نقطه شروع فلوم نصب شده تا علاوه بر ایجاد جریان توسعه‌یافته در فلوم فضای کافی برای ایجاد جریان ماندگار در پایین دست دریچه فراهم گردد. در مجموع مدل آزمایشگاهی در ۴۵ آزمایش با در نظر گرفتن ۳ دبی (۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه)، ۵ زاویه بازشدگی (۳۵، ۴۰، ۴۵، ۵۰ و ۵۲/۵ درجه) و ۳ نسبت استغراق (۰.۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد) توسط پیل بالا و همکاران (۲۰۲۱) انجام شده است.

آنالیز ابعادی

ضریب دبی در شرایط جریان آزاد تابعی از متغیرهای نشان داده شده در معادله (۱) است.

$$f(Q, y_u, y_t, b_g, B, g, \rho, \mu) \quad (1)$$

عمق آب در بالادست دریچه (y_u) ، عمق آب در پایین دست دریچه (y_t) ، عرض کانال (B) ، عرض دریچه (b) ، میزان عرض بازشدگی تحت تأثیر زاویه (b_g) ، دبی جریان (Q) ، جرم مخصوص (ρ) ، لزجت دینامیکی سیال (μ) و شتاب جاذبه (g) می‌باشد. با کمک تئوری باکینگهام، به رابطه (۲) می‌رسیم:

$$C_d = f\left(\frac{y_t}{y_u}, \frac{b_g}{y_u}, \frac{b}{y_u}, \frac{B}{y_u}, Fr, Re_u\right) \quad (2)$$

رینولدز که برابر است با نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت و همچنین عدد فرود نسبت نیروی اینرسی به نیروی ثقل است. به دلیل تلاطم جریان و بالا بودن اعداد رینولدز می‌توان از تأثیر نیروی لزجت صرف نظر کرد. در نهایت رابطه (۳) حاصل می‌گردد.

$$C_d = f\left(\frac{b_g}{B}, \frac{b}{B}, \frac{y_t}{y_u}, Fr\right) \quad (3)$$

در معادله (۳)، عدد فرود (Fr) ، عمق بالادست به عمق پایین دست دریچه $(\frac{y_t}{y_u})$ ، نسبت عرض دریچه به عرض کانال $k(\frac{b}{B})$ ، نسبت عرض بازشدگی به عرض کانال $(\frac{b_g}{B})$ است. در ادامه ضرایب دبی با کمک پارامترهای بدون بعد در تعداد ۳ دبی ارائه می‌شود. مؤثرترین پارامتر بدون بعد نسبت بازشدگی است؛ چراکه هر سه پارامتر بدون بعد دیگر $(\frac{y_t}{y_u}, \frac{b}{B}, Fr)$ هر سه تابعی از نسبت بازشدگی هستند.

مبانی نظری

معادله ضریب دبی

ضریب دبی، (C_d) ، بیان شده در معادله (۱) نشان‌دهنده ضریب مشخصی از دبی عبوری جریان از دریچه‌های سالونی می‌باشد. معادله (۱) در واقع شامل یک فرمول مشخصه برای ارزیابی دبی است و نقش برجسته‌ای در طبقه‌بندی عملکرد هیدرولیکی دریچه‌های سالونی دارد. این معادله جهت محاسبه ضریب آبگذری عبوری از دریچه سالونی بیضوی، با به کارگیری رابطه‌ی برنولی بین دو مقطع ۱ و ۲ و استفاده از شکل کانال و با توجه به رفتار هیدرولیکی دریچه سالونی و اعمال کردن رابطه پیوستگی و ترکیب روابط، توسط خیر و همکاران^۱ (۲۰۲۱) ارائه شد.

$$Q = C_d \times B \times Y_{up}^{1.5} \times \sqrt{\frac{2gS^2}{S+1}} \quad (1)$$

¹ Kheybar et al

در این معادله Q همان دبی ورودی درون کانال، B عرض کانال، C_d ضریب دبی، Y_{up} ارتفاع آب بالادست دریچه و S نسبت استغراق بوده که از نسبت عمق پایین دست ب عمق بالادست $(\frac{Y_t}{Y_u})$ به دست آمده و پس از جایگذاری مقادیر ضریب آبگذری برای دبی و بازشدگی های مختلف محاسبه و بررسی شده است.

معرفی نرم افزار Flow3D

در این پژوهش به منظور مدل سازی و بررسی تأثیر دریچه سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق، از نرم افزار Flow3D که یک مدل بسیار قوی در زمینه CFD است استفاده شده است. در این نرم افزار از دو تکنیک عددی برای مدل سازی استفاده خواهد شد. روش حجم سیال (VOF) که از طریق سعی و خطا و تحلیل هم زمان معادلات ناور-استوکس جریان متلاطم با انواع روش های CFD به محاسبه پارامترهای نظیر سرعت و فشار می پردازد و روش کسر مساحت-حجم مانع (FAVOR) که در شبیه سازی سطوح و اجسام صلب نظیر مرزهای هندسی کاربرد دارد، استفاده می شود.

شبیه سازی عددی

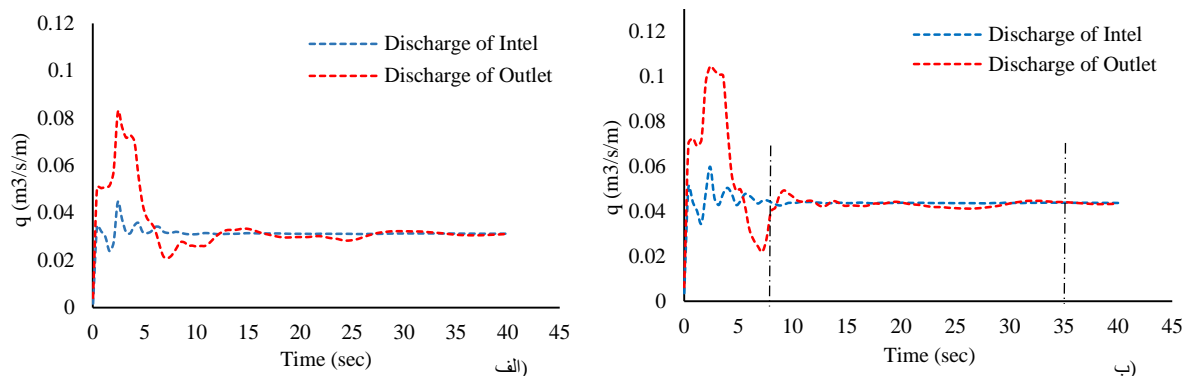
نتایج داده های آزمایشگاهی به دست آمده توسط پیل بالا و همکاران (۲۰۲۱) ابتدا برای کالیبراسیون و اعتبار سنجی مدل Flow3D استفاده شد. سپس مشخصات شبیه سازی تأیید شده برای دیگر شبیه سازی ها به منظور به دست آوردن داده های نهایی مورد نیاز استفاده شد. برای مرحله کالیبراسیون، دریچه سالونی مستطیلی با مقدار دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۵ درجه و نسبت استغراق ۷۰ درصد شبیه سازی شد. با تغییر تعداد سلول مش و با انتخاب مدل آشفتگی، مدل عددی به گونه ای کالیبره شد که نتایج شبیه سازی مستقل از تعداد سلول مش بوده و به خوبی با مقادیر اندازه گیری شده سطح آب در آزمایشگاه مطابقت داشته باشد. در این پژوهش به منظور بررسی عملکرد دریچه های سالونی بیضوی چندگانه در دو شرایط جریان آزاد و مستغرق و مقایسه این دو نسبت به یکدیگر در مجموع از ۳۶ شبیه سازی استفاده گردید. جدول (۲)، ۹ شبیه سازی از دریچه های سالونی بیضوی چندگانه با دبی های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در شرایط جریان آزاد شبیه سازی گردید. همچنین ۲۷ مدل از دریچه های سالونی بیضوی چندگانه با دبی های ۲۰، ۴۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و در شرایط جریان مستغرق با استغراق های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد شبیه سازی شد.

مدل های آشفتگی

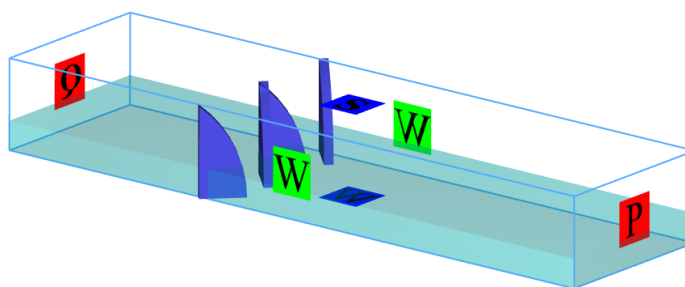
مدل های آشفتگی شامل، مدل های صفر معادله ای، مدل های تک معادله ای، مدل های $(k-\epsilon)$ ، مدل های (RNG)، مدل های (LES) که متداول ترین آن ها در بحث سازه های هیدرولیکی مدل های $(k-\epsilon)$ ، (RNG) و (LES) است. مدل RNG برای توصیف آشفتگی با شدت کم و جریان هایی که دارای مناطق برشی قوی هستند با دقت بیشتری نسبت به مدل استاندارد K- ω شناخته می شود، بنابراین مدل RNG کاربرد وسیع تری نسبت به K- ω دارد. همچنین مدل آشفتگی K- ϵ به ویژه برای توصیف حوزه های جریان در نزدیکی مرزهای دیوار و فواصل با گرا دیان های فشار جریانی، مانند جت ها تلقی می شود. علاوه بر این گردابه هایی که در اطراف دریچه تشکیل می شوند توسط مدل RNG با دقت بیشتری شبیه سازی می شوند. همچنین مدل آشفتگی K- ϵ به دلیل این که دارای تحلیل های دو معادله ای بوده و ضرایب تقریباً ثابتی دارد نسبت به RNG از دقت کمتری برخوردار است.

مش بندی و شرایط مرزی

در این پژوهش از یک بلوک مش بندی استفاده شده که تمامی فضای شبیه سازی و سازه را شامل می شود. در این پژوهش برای بلوک مش بندی، تعداد مش های ۵۰۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج انتخاب تعداد سلول مش بندی مناسب در جدول (۲) آمده است. در طول فرآیند اعتبار سنجی، همگرایی حل عددی حالت پایدار با نظارت بر دبی در واحد عرض (Q) و با تغییرات در ورودی و خروجی حوزه شبیه سازی بررسی شد. شکل (۲) تغییرات زمانی را با دبی در واحد عرض در دو سری از آزمایش های پیل بالا و همکاران (۲۰۲۱) با میزان بازشدگی ۴۵ درجه، میزان استغراق ۷۰ درصد و در دبی های ۲۵ و ۳۵ لیتر بر ثانیه نشان می دهد. شکل (۲) نشان می دهد که زمان ۳۵ ثانیه برای دستیابی به یک وضعیت پایدار برای دو تخلیه اتخاذ شده مناسب بود؛ بنابراین و برای احتیاط بیشتر، زمان اجرای شبیه سازی روی ۴۰ ثانیه تنظیم شد. شرایط مختلف مرز بندی در شبکه سلول محاسباتی به شکل مرز ورودی به صورت دبی ورودی، مرز خروجی نیز به علت ایجاد استغراق جریان به صورت فشار انتخاب گردید. دیوارهای جانبی شبکه سلول های محاسباتی و همچنین کف بلوک مش بندی در حالت دیوار تنظیم شده و سقف این بلوک نیز به علت وجود هوا به صورت شرط مرزی متقارن در نظر گرفته شده است که در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۲. تغییرات زمانی با دبی در واحد عرض (q) در ورودی و خروجی حوزه شبیه‌سازی برای بازشدگی ۴۵ درجه، استغراق ۷۰ درصد و دبی الف) ۲۵ لیتر بر ثانیه ب) ۳۵ لیتر بر ثانیه



شکل ۳. شرایط مرزی اعمال‌شده در شبیه‌سازی

انتخاب مش بندی، مدل آشفتگی و کالیبراسیون

نتایج شبیه‌سازی عددی دریچه سالونی مستطیلی پیل بالا و همکاران (۲۰۲۱) با دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۵ درجه و میزان استغراق ۷۰ درصد در تعداد سلول مش بندی و مدل‌های آشفتگی مختلف در جدول (۲) آورده شده و با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. جدول (۲) میزان خطا را برای معیارهای مختلف RMSE (ریشه میانگین مربعات خطا)، MAPE (میانگین درصد مطلق خطا) و MSE (میانگین مربعات خطا) مربوط به مقایسه عمق بالادست برداشت‌شده بر روی دریچه سالونی مستطیلی نسبت به عمق بالادست شبیه‌سازی‌شده را در تعداد سلول مش و مدل‌های آشفتگی مختلف نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در بین ۹ شبیه‌سازی صورت گرفته و انتخاب تعداد سلول‌های مش بندی و مدل‌های آشفتگی مختلف، بهترین عملکرد، در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده، توسط مدل‌های RNG و تعداد سلول‌های مش بندی ۱۰۰۰۰۰۰ به دست آمد. برای صحت سنجی مدل آشفتگی و تعداد سلول مش بندی از معیارهای محاسباتی نام‌برده استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد نتایج در محدوده قابل‌قبولی از خطاها قرار دارد. در نتیجه در این پژوهش برای تمامی شبیه‌سازی‌ها از مدل آشفتگی RNG و تعداد سلول مش بندی ۱۰۰۰۰۰۰ استفاده شد.

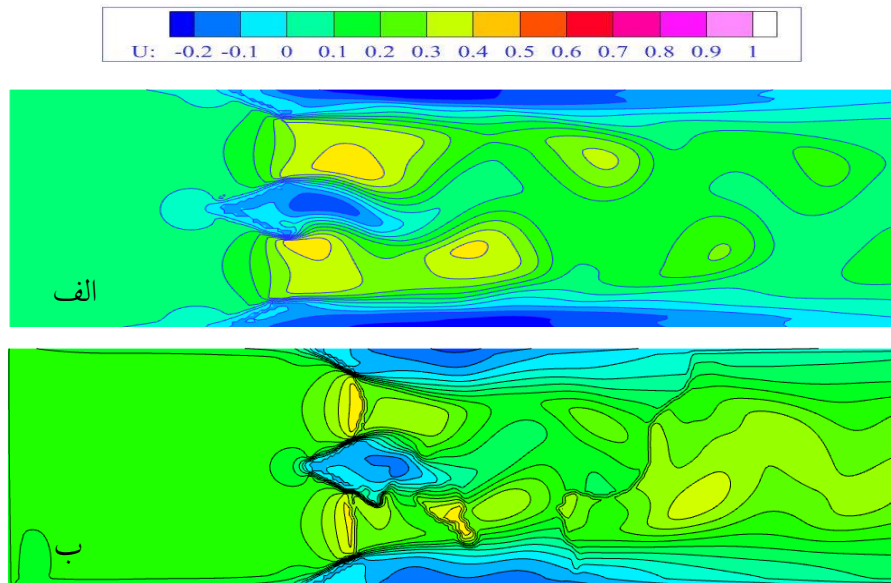
جدول (۲) نتایج آماری مش بندی، مدل آشفتهگی و کالیبراسیون با مدل آزمایشگاهی در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۵ درجه و استغراق ۷۰ درصد

شماره	زاویه (°)	دبی (l/s)	استغراق (%)	مش بندی	مدل های آشفتهگی	عمق آب بالادست		MAPE (%)	RMSE (m)	MSE (%)	انتخاب
						مدل آزمایشگاهی	مدل عددی (m)				
۱	۳۵	۲۵	۷۰		RNG	۰/۲۲۵	۰/۲۱۲	۵/۷۸	۰/۰۱۳	۰/۰۰۰۱۷	
۲				۵۰۰۰۰۰۰	K-ε		۰/۲۰۹	۷/۱۱	۰/۲۰۹	۰/۰۴۳۶	
۳					K-ω		۰/۲۱	۶/۶۷	۰/۲۱	۰/۰۴۴۱	
۴					RNG		۰/۲۱۵	۴/۱۴	۰/۲۱۵۷	۰/۰۴۶۵	↓
۵				۱۰۰۰۰۰۰	K-ε		۰/۲۱	۶/۶۷	۰/۲۱	۰/۰۴۴۱	
۶					K-ω		۰/۱۹۵	۱۲/۳	۰/۱۹۵	۰/۰۳۰۲	
۷					RNG		۰/۱۹۷	۱۲/۴	۰/۱۹۷	۰/۰۳۸۸۸	
۸				۲۰۰۰۰۰۰	K-ε		۰/۲۱۱	۶/۲۳	۰/۲۱۱	۰/۰۴۴۵۲	
۹					K-ω		۰/۲۰۵	۸/۹	۰/۲۰۵	۰/۰۴۲۰۲	

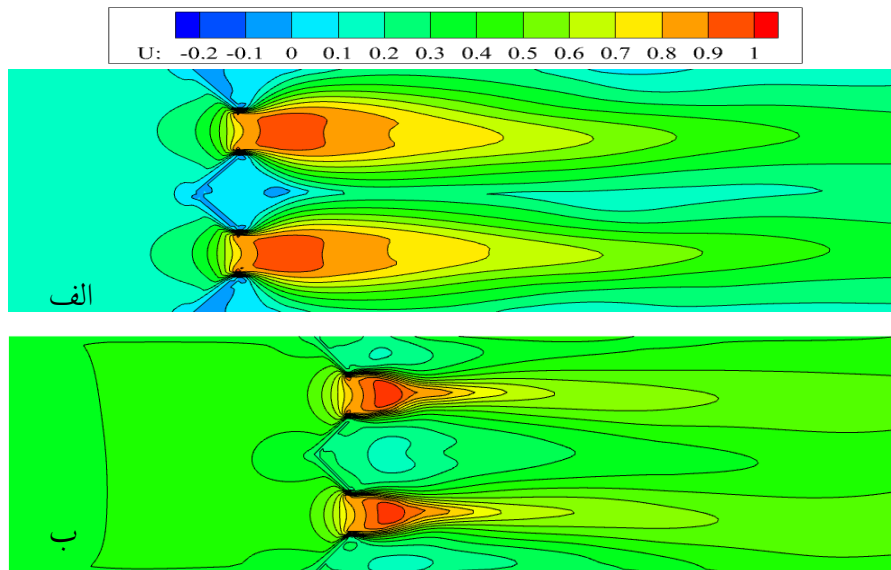
یافته‌ها

اثر تغییرات عدد فرود (Fr) بر سرعت حداکثر (V_{max})

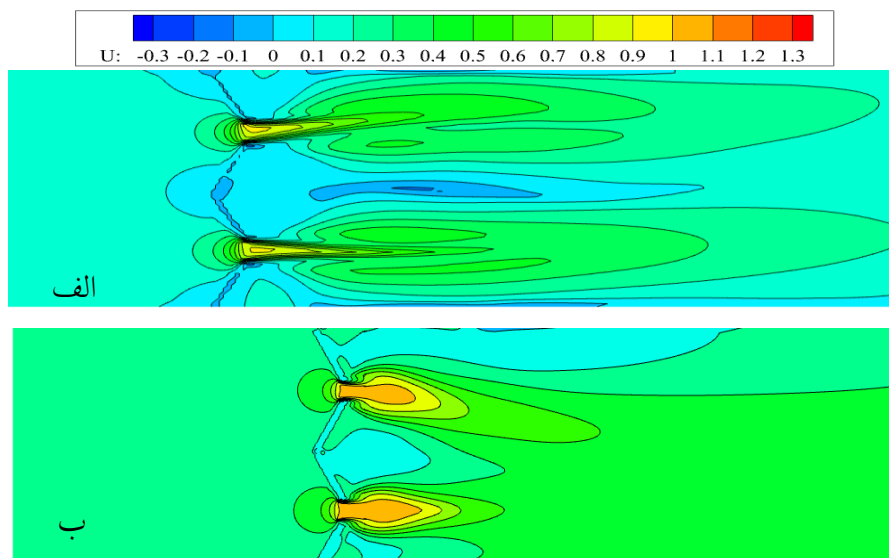
شکل‌های (۴ تا ۶) میدان توزیع سرعت جریان را در اطراف دریچه، در دبی 20 l/s و بازشدگی‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه دو دو حالت آزاد و مستغرق با میزان استغراق ۷۰٪ نشان می‌دهد. در تمامی شکل‌های نشان داده شده تفاوت مقادیر سرعت جریان در نزدیکی بستر باحالت شاهد در بازشدگی‌های مختلف به وضوح دیده می‌شود. هدف از ارزیابی انجام شده رسیدن به سازه‌ای با بهترین عملکرد هیدرولیکی است. طبق راهنمای رنگ‌بندی در شکل‌های به دست آمده، تغییر رنگ از سبز و زرد به قرمز و نارنجی نشان دهنده افزایش سرعت در قسمت‌های میانی و اطراف دریچه است. شکل‌های (۴ تا ۶) و بررسی‌های کیفی صورت گرفته در خصوص میدان توزیع سرعت در اطراف دریچه نشان می‌دهند که محدوده توزیع سرعت با زاویه بازشدگی دریچه رابطه معکوس دارد. میدان سرعت با افزایش زاویه بازشدگی دریچه کاهش می‌یابد. قابل مشاهده است که در شکل‌های (۴-الف و ۴-ب) در دبی 20 l/s و بازشدگی ۳۰ درجه در هر دو حالت آزاد و مستغرق، به دلیل تشکیل گردابه‌های جریان در نزدیکی دیواره‌ها و در شکل (۶-ب) با دبی 20 l/s و بازشدگی ۶۰ درجه، در حالت جریان مستغرق به دلیل تشکیل گردابه‌ها در یک طرف دیواره فلوم جریان آب از مسیر خود منحرف شده و به مرکز فلوم و یا به طرف دیواره فلوم منحرف می‌گردد. با توجه به شکل‌های (۴ تا ۶) مشاهده می‌گردد که در زمان استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در حالت جریان مستغرق، محدوده توزیع سرعت و مقادیر عددی سرعت در مقایسه با دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد کاهش می‌یابد؛ زیرا وجود جریان آب در پایین دست دریچه در شرایط جریان مستغرق باعث کاهش سرعت جریان آب در اطراف دریچه می‌شود. این امر سبب کاهش احتمال وقوع آب شستگی و فرسایش کمتر در نزدیکی دهانه دریچه و در نقاط قرمز رنگ می‌شود. می‌توان از این امر به عنوان یکی از مزایای استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط نام برد. تحلیل و بررسی میدان سرعت در این ارزیابی برای دبی‌های دیگر نیز صدق می‌کند.



شکل ۴. توزیع سرعت در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۳۰ درجه الف) جریان آزاد ب) جریان مستغرق با استغراق ۷۰٪

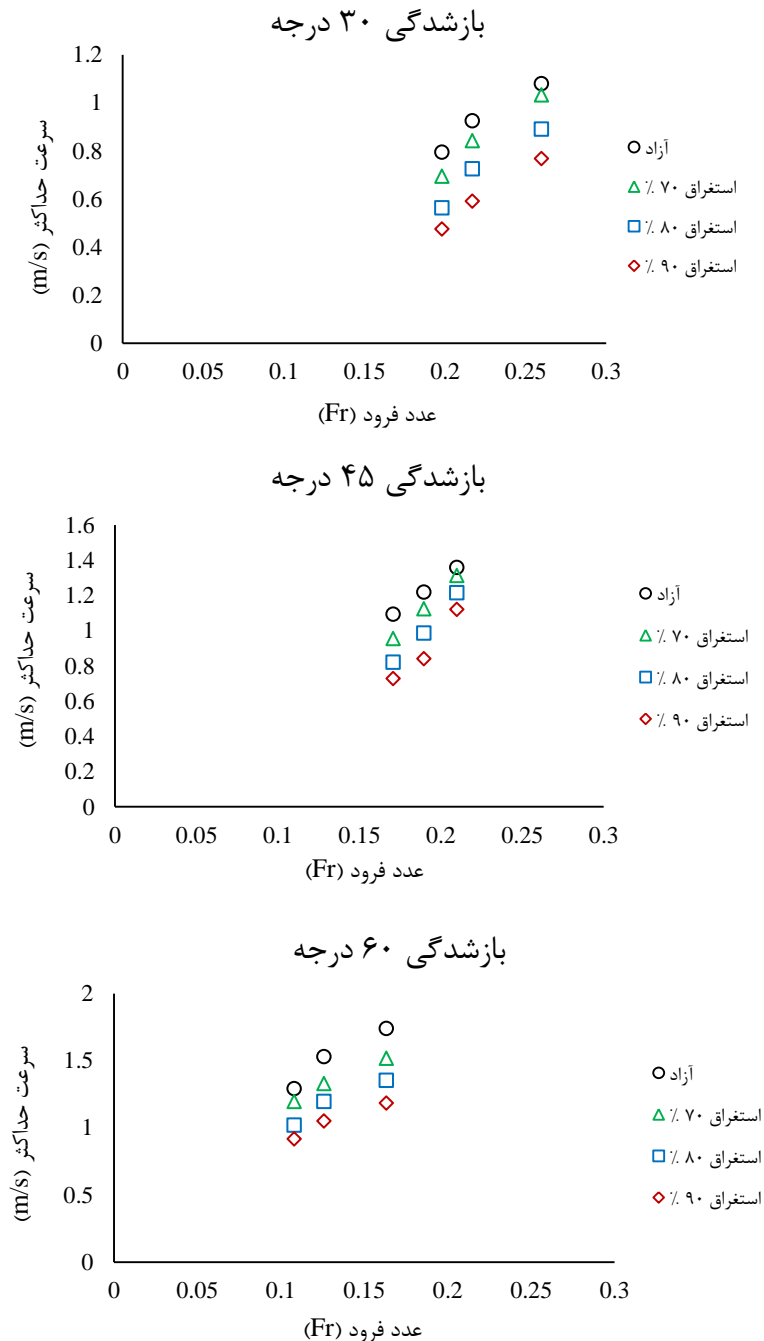


شکل ۵. توزیع سرعت در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۴۵ درجه الف) جریان آزاد ب) جریان مستغرق با استغراق ۷۰٪



شکل ۶. توزیع سرعت در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۶۰ درجه الف) جریان آزاد ب) جریان مستغرق با استغراق ۷۰٪.

شکل‌های (۷) تغییرات سرعت حداکثر را در زاویه‌های بازشدگی (۳، ۴۵ و ۶۰ درجه را نسبت به تغییرات عدد فرود نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌گردد که سرعت حداکثر با عدد فرود و همچنین زاویه بازشدگی رابطه مستقیم دارد. به طوری که مشاهده می‌گردد که با افزایش عدد فرود در بازشدگی‌های ثابت مقدار V_{max} افزایش یافته و همچنین با افزایش زاویه بازشدگی دریچه (کاهش تنگ‌شدگی) این پارامتر مرتباً افزایش یافته است. از طرفی با توجه به شکل‌های (۷) مشاهده می‌گردد که مقدار سرعت حداکثر با درصد استغراق رابطه‌ای معکوس دارد. به شکلی که با افزایش درصد استغراق جریان، سرعت حداکثر مرتباً کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که حداکثر سرعت جریان ایجادشده بر روی دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق به مراتب کمتر از زمانی است که از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد استفاده می‌گردد. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که در زمان استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط مستغرق جریان در مقایسه با دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط آزاد، سرعت حداکثر در بازشدگی ۳۰ درجه، به طور متوسط در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۹، ۳۰ و ۵۴ درصد، در بازشدگی ۴۵ درجه، در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۸، ۲۲ و ۳۸ درصد و در بازشدگی ۶۰ درجه، در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۱۲، ۲۲ و ۴۴ درصد، کاهش خواهد یافت. بیشترین میزان کاهش سرعت دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق مربوط به دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۰ درجه و استغراق ۹۰٪ به مقدار ۶۷ درصد و کمترین میزان کاهش آن مربوط به دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۶۰ درجه و استغراق ۷۰٪ با مقدار ۷ درصد است. پس از بررسی‌های صورت گرفته، در نهایت توصیه می‌گردد که در دبی‌های کم و میزان استغراق‌های بالا به دلیل ایجاد سرعت حداکثر کمتر نسبت به دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد و کاهش میزان فرسایش و آب شستگی در کف کانال از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق استفاده گردد.



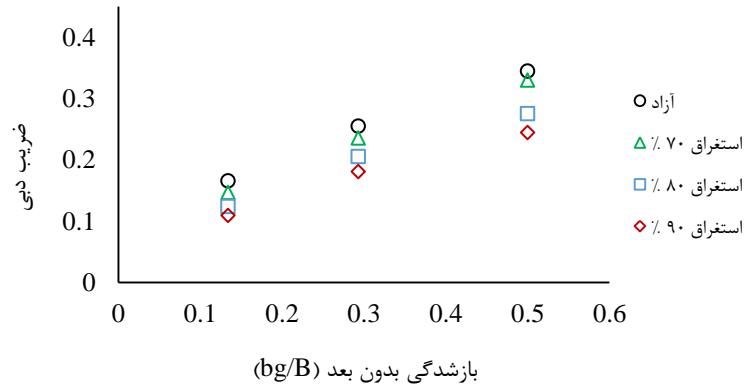
شکل ۷. بررسی تغییرات سرعت دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در دو حالت جریان آزاد و مستغرق

اثر بازشدگی بدون بعد (bg/B) بر ضریب دبی (Cd)

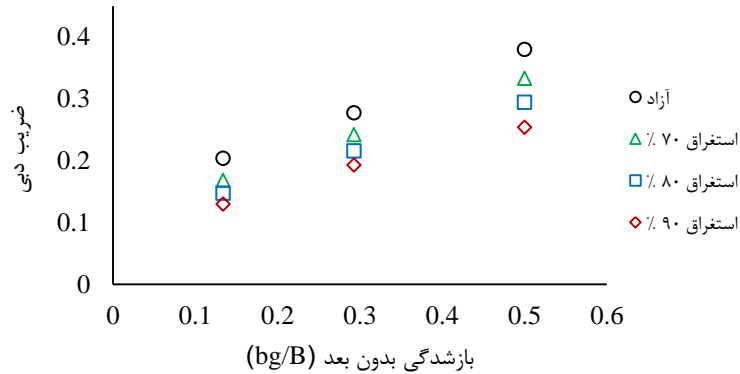
این بخش باهدف بررسی تأثیر نسبت‌های بازشدگی بدون بعد (bg/B) و دبی عبوری (Q) بر ضریب دبی Cd است. شکل‌های (۱) تغییرات ضریب دبی (Cd) دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار Flow3D را در مقابل تغییرات بازشدگی بدون بعد (bg/B) نشان می‌دهد. بررسی‌ها نشان داد ضریب دبی (Cd) با میزان دبی عبوری و مقدار بازشدگی دریچه رابطه‌ی مستقیم دارد. مشاهده می‌شود که با افزایش بازشدگی دریچه (bg/B) و دبی عبوری جریان مقدار ضریب دبی مرتباً افزایش می‌یابد. با توجه به شکل‌های (۸) مشاهده می‌گردد که مقدار ضریب دبی با درصد استغراق رابطه‌ی معکوس دارد. به شکلی که با افزایش درصد استغراق جریان، ضریب دبی مرتباً کاهش می‌یابد. با توجه به روند تغییرات ضریب دبی نسبت به بازشدگی‌های مختلف مشاهده می‌گردد که مقدار ضریب دبی در زمان بهره‌برداری از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق نسبت به دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط

جریان آزاد کمتر بوده است. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که در زمان استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط مستغرق جریان در مقایسه با دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد، ضریب دبی در بازشدگی ۳۰ درجه، به‌طور متوسط در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۸، ۲۶ و ۴۵ درصد، در بازشدگی ۴۵ درجه، در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۱۶، ۳۴ و ۴۹ درصد و در بازشدگی ۶۰ درجه، در دبی‌های (۲۰، ۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه برای میزان استغراق‌های (۷۰، ۸۰ و ۹۰) درصد به ترتیب ۱۷، ۳۶ و ۵۴ درصد، کاهش می‌یابد. بیشترین میزان کاهش سرعت دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق مربوط به دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۴۵ درجه و استغراق ۹۰٪ به مقدار ۶۳ درصد و کمترین میزان کاهش آن مربوط به دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۰ درجه و استغراق ۷۰٪ با مقدار ۴ درصد است.

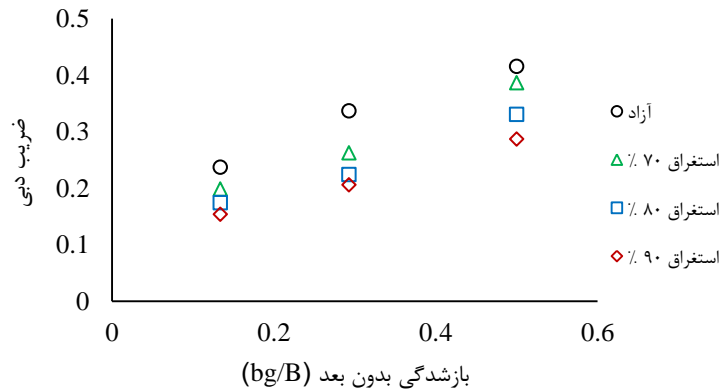
دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه



دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه



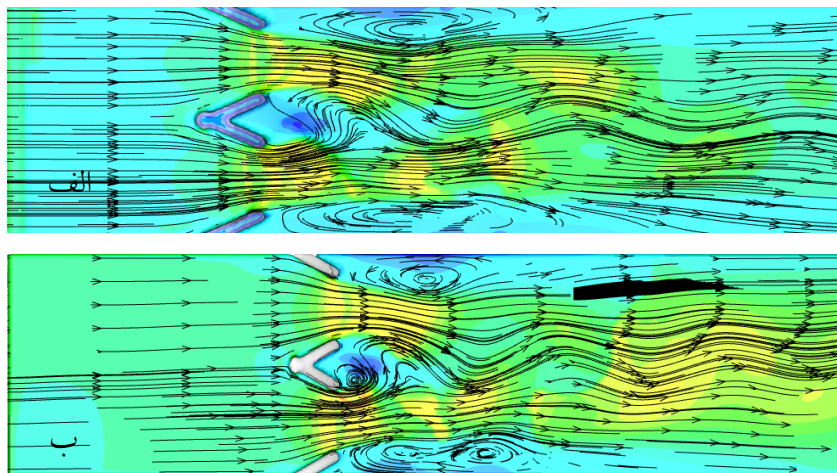
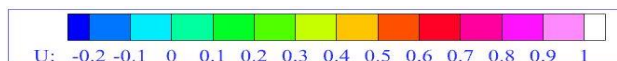
دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه



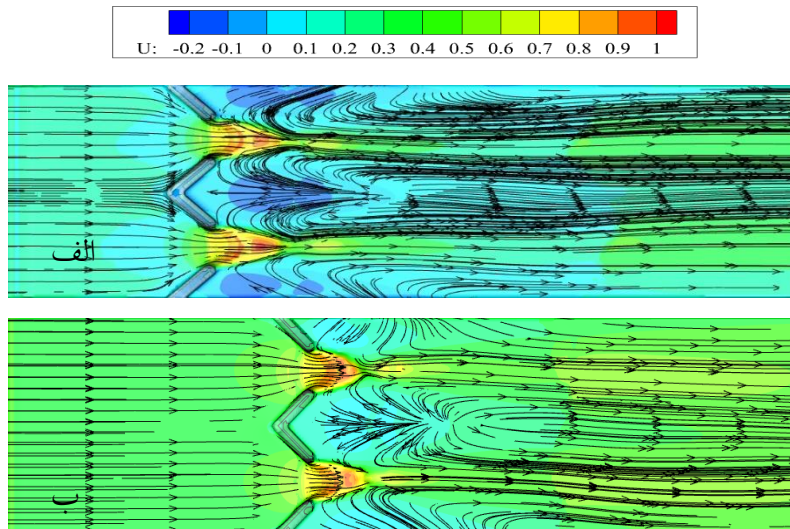
شکل ۸ تغییرات ضریب دبی (CD) نسبت به تغییرات بازشدگی بدون بعد (bg/B)

الگوی جریان در محدوده دریچه‌های سالونی

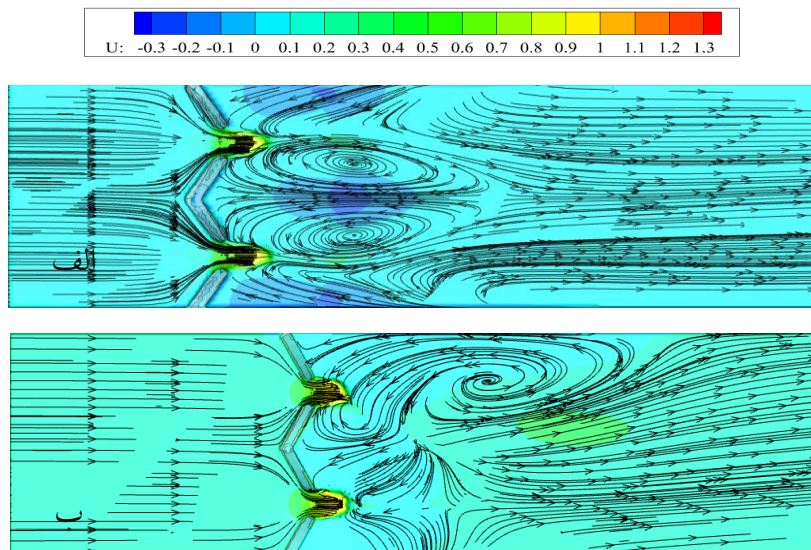
جریان گردابی مشکلات زیادی برای تأسیسات هیدرومکانیکی آبیگرها ایجاد می‌کند. از جمله این مشکلات می‌توان به ورود هوا به مجرای آبیگر و عملکرد نامناسب ماشین‌های هیدرولیکی و مکش اجسام به دهانه آبیگر اشاره کرد. در این پژوهش به بررسی الگوی جریان بر روی دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در دو حالت آزاد و مستغرق و مقایسه آنان با یکدیگر پرداخته شده است. باتوجه به شکل-های (۹ تا ۱۱) خطوط جریان در دبی ثابت ۲۰ لیتر بر ثانیه، بازشدگی های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و در دو حالت جریان آزاد و مستغرق با میزان استغراق ۷۰٪ برای دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه ترسیم شده است. راهنمای آبی، سبز و زرد در شکل‌های (۹ تا ۱۱) نشان‌دهنده تغییرات سرعت در بخش‌های مختلف کانال است. به توجه به راهنمای تغییرات سرعت و بررسی‌های صورت گرفته، مشخص شد که در هنگام استفاده از دریچه سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد گردابه‌هایی با قدرت بالا نسبت به دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق به وجود می‌آید؛ زیرا وجود جریان آب در پایین دست دریچه در شرایط جریان مستغرق باعث کاهش سرعت جریان آب در اطراف دریچه می‌شود. این پدیده باعث کاهش وسعت گردابه‌های ایجاد شده در پایین دست و اطراف دریچه سالونی بیضوی می‌گردد. این پدیده می‌تواند باعث بروز مشکلاتی نظیر افزایش افت انرژی، کاهش نرخ آبیگری، کاهش راندمان ماشین‌های هیدرولیکی و عملکرد نامناسب آن‌ها شود؛ اما با بررسی الگوی جریان دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق، وسعت گردابه‌ها کاهش یافته و در نتیجه از قدرت آن کاسته شده است. شکل‌های (۹-الف و ۹-ب) در میزان بازشدگی ۳۰ درجه و شکل (۱۱-ب) در بازشدگی ۶۰ درجه نشان می‌دهد که جریان در هنگام عبور از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه به مرکز و یا اطراف کانال منحرف شده که این امر باعث ایجاد گردابه‌هایی بزرگ با کشیدگی طولی زیاد در نزدیکی جداره فلوم می‌شود. گردابه‌های تشکیل شده در اطراف و پایین دست دریچه‌های نصب شده، موجب ایجاد ارتعاش و خوردگی در بدنه این دریچه‌ها، سبب کاهش عمر و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری این سازه‌ها می‌شود. این گردابه‌ها رشد لایه مرزی را مختل کرده و در نهایت باعث افزایش انتقال حرارت بین سیال و سطح مجاور آن می‌شوند. همچنین باتوجه به شکل (۱۰-الف و ۱۰-ب) مشاهده می‌گردد که در میزان دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و زاویه بازشدگی (۴۵) درجه تأثیر گردابه در اطراف دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق در مقایسه با دریچه سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد به حداقل رسیده است. این گردابه‌ها برای دبی‌های دیگر (۴۰ و ۶۰) لیتر بر ثانیه کاملاً مشابه هستند، اما یکسان نیستند. در نهایت با بررسی‌های صورت گرفته بر روی دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط مستغرق در مقایسه با دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد مشخص گردید که گردابه‌های برگشتی در پایین دست دریچه نامنظم‌تر می‌شوند و تغییرات گردابه‌ها شدیدتر است که به نوبه خود بر کارایی و عملکرد پایدار دروازه تأثیر می‌گذارد.



شکل ۹. خطوط جریان بر روی دریچه سالونی بیضوی چندگانه در بازشدگی ۳۰ درجه، دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و در دو حالت الف) آزاد ب) مستغرق با استغراق ۷۰٪



شکل ۱۰. خطوط جریان بر روی دریچه سالونی بیضوی چندگانه در بازشدگی ۴۵ درجه، دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و در دو حالت الف) آزاد (ب) مستغرق با استغراق ۷۰٪



شکل ۱۱. خطوط جریان بر روی دریچه سالونی بیضوی چندگانه در بازشدگی ۶۰ درجه، دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و در دو حالت الف) آزاد (ب) مستغرق با استغراق ۷۰٪

بحث

دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه، می‌تواند به‌عنوان نسل جدیدی از دریچه‌ها با ویژگی‌های عملکردی خاص برای مدیریت کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و نرم‌افزار Flow3D، تأثیر استفاده از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق را در مقایسه با دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد، سرعت حداکثر جریان، ضریب دبی و گردابه‌های جریان مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتیجه‌گیری

موارد زیر را می‌توان به‌عنوان نتایج کلیدی تحقیق ذکر کرد:

نتایج نشان داد که سرعت حداکثر با عدد فرود و همچنین زاویه بازشدگی رابطه مستقیم خواهد داشت. به این ترتیب مشاهده می‌گردد که با افزایش عدد فرود در بازشدگی‌های ثابت مقدار V_{max} افزایش یافته و همچنین با افزایش زاویه بازشدگی دریچه (کاهش تنگ‌شدگی) این

پارامتر مرتباً افزایش یافته است. همچنین مشخص گردید که حداکثر سرعت جریان ایجادشده بر روی دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق به مراتب کمتر از زمانی است که از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد استفاده می‌گردد.

بررسی‌ها نشان داد ضریب دبی (Cd) با میزان دبی عبوری و مقدار بازشدگی دریچه رابطه مستقیم دارد. به نحوی که با افزایش بازشدگی دریچه و دبی عبوری جریان مقدار ضریب دبی مرتباً افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده گردید که مقدار ضریب دبی با درصد استغراق رابطه‌ای معکوس دارد. به شکلی که با افزایش درصد استغراق جریان، ضریب دبی مرتباً کاهش می‌یابد.

نتایج نشان داد که جریان در هنگام عبور از دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه به مرکز و یا اطراف کانال منحرف شده که این امر باعث ایجاد گردابه‌هایی بزرگ با کشیدگی طولی زیاد در نزدیکی جداره فلوم می‌شود. همچنین مشاهده شد که در میزان دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و زاویه بازشدگی (۴۵) درجه تأثیر گردابه در اطراف دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق در مقایسه با دریچه سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان آزاد به حداقل رسیده است.

بر اساس نتایج مدل‌سازی عددی و تحلیلی پژوهش حاضر، کاربرد دریچه‌های سالونی بیضوی چندگانه در شرایط جریان مستغرق مورد بررسی به دلیل بهبود در عملکرد پارامترهای هیدرولیکی در مقایسه با دریچه‌های سالونی مستطیلی چندگانه، به عنوان یک ابزار اندازه‌گیری و کنترل جریان قابل اطمینان و حمل آسان در شرایط جریان آزاد در کانال‌های روباز پیشنهاد می‌گردد. لذا این سازه دارای محدودیت‌هایی از جمله تشکیل گردابه‌های بزرگ و انحراف جریان به یک‌طرف کانال را دارا بوده و این امر نیازمند بررسی‌ها و ارائه راه‌حلی به جهت بهبود هرچه بهتر عملکرد این سازه در مقایسه با سازه‌های مشابه است.

منابع

- شفاعی بجستان، محمود، زینی وند، مهدی، و طهماسبی پور، محسن. (۱۳۹۹). ضریب دبی دریچه سالونی بیضوی همراه با تبدیل تدریجی در شرایط مستغرق. نشریه هیدرولیک، ۱۵(۲)، ۸۰-۶۷. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.225028.1449>
- شفاعی بجستان، محمود، کاظمی حسنونند، کیوان، و زینی وند، مهدی. (۱۴۰۱). مطالعه عددی تأثیر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیکی جریان. علوم و مهندسی آبیاری، مقاله آماده انتشار. <https://doi.org/10.22055/jise.2022.38726.1993>
- فتحی، ستاره، سجادی، سید محسن، احدیان، جواد، و پارسائی، عباس. (۱۴۰۲). بررسی تأثیر استغراق‌های مختلف بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در دریچه سالونی مستطیلی چندگانه. مدیریت آب و آبیاری، مقاله آماده انتشار. <https://doi.org/10.22059/JWIM.2023.365670.1106>
- کرم دخت بهبهانی، محمد، سجادی، سید محسن، احدیان، جواد، و پارسایی، عباس. (۱۴۰۲). بررسی عددی هیدرولیکی و هیدرودینامیکی جریان عبوری از دریچه‌های سالونی مستطیلی چندگانه با نرم‌افزار Flow3D. علوم آب و خاک (Isfahan University of Technology)، ۲۸(۱)، ۶۴-۵۱. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.28.1.19852>
- مبارک، فرانک، سجادی، سید محسن، احدیان، جواد، و زینی وند، مهدی. (۱۴۰۱). مدل‌سازی عددی اثر کشیدگی بیضوی بر عملکرد هیدرولیکی دریچه سالونی بیضوی. مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۲)، ۲۷۵-۲۶۳. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.335817.952.263-275>
- یوسفوند، فاطمه، منعم، محمد جواد، و کاویانپور، محمدرضا. (۱۳۹۴). ارزیابی آزمایشگاهی و تحلیلی ضریب دبی دریچه سالونی در شرایط جریان مستغرق. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۹(۵)، ۸۱۹-۸۱۱. https://idj.aid.ir/article_55126.html

References

- Aqua Systems 2000 Incorporation (AS21). (2013). Leaders in Water Management and Control. <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate>
- Carollo, F. G., Ferro, V., & Pampalone, V. (2012). Experimental investigation of the outflow process over a triangular labyrinth-weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(1), 73-79. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000366](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000366)
- Cox, A. L., Kullberg, E. G., MacKenzie, K. A., & Thornton, C. I. (2014). Stage-discharge rating equation for an elliptical sharp-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(6), 04014018. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000730](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000730)
- Cox, A. L., Saadat, S., MacKenzie, K. A., & Thornton, C. I. (2015). Effect of urban debris on hydraulic efficiency of an elliptical sharp-crested weir. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 141(6), 06014006. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000837](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000837)
- Fathi, S., Sajjadi, S. M., Ahadiyan, J., & Parsaie, A. (2023). Numerical investigation of the effect of different plunges on the flow hydraulic parameters in multiple rectangular lopac gates by using Flow3D. *Water and Irrigation Management*, Ready for publication paper. <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.365670.1106> [In Persian]
- karamdokht Behbahani, M., Sajjadi, S. M., & Ahadiyan, J. (2024). Hydraulic investigation of the flow through multiple rectangular Lopac gate in free flow and submerged mode by Flow 3D software. *Irrigation and Water Engineering*, 28(1), 51-64. <http://dx.doi.org/10.47176/jwss.28.1.19852> [In Persian]

- Kheybar, H., Sajjadi, S. M., & Ahadiyan, J. (2021). Effect of sudden canal contraction on the discharge coefficient and the energy dissipation coefficient of the elliptical LOPAC gate. *Irrigation and Drainage*, 70(5), 1145-1154. <https://doi.org/10.1002/ird.2622>
- Mubarak, F., Sajjadi, S. M., Ahdian, J., & Zainiwand, M. (1401). Numerical modeling of the effect of elliptic elongation on the hydraulic performance of the elliptical salon valve. *Water management and irrigation*. 12(2), 263-275. <https://doi.org/10.22059/jwim.2022.335817.952> [In Persian]
- Negm, A. A. M., Al-Brahim, A. M., & Alhamid, A. A. (2002). Combined-free flow over weirs and below gates. *Journal of Hydraulic research*, 40(3), 359-365. <https://doi.org/10.1080/00221680209499950>
- Negm, A. M., Abdelaal, G. M., Elfiky, M. M., Abdalla, Y. M., & Afifi, M. (2006). Effects of Multi-Gates Operations on Bottom Velocity Pattern Under Submerged Flow Conditions. *Proc. IWTC10*, 1, 217-280.
https://www.academia.edu/7712892/EFFECT_OF_MULTI_GATES_REGULATORS_OPERATIONS_ON_DOWNSTREAM_SCOUR_PATTERN_UNDER_SUBMERGED_FLOW_CONDITIONS
- Pilbala, A., Sajjadi, S., & Bejestan, M. S. (2021). Hydraulic performance of elliptical-LOPAC gate under submerged flow conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), 317-326. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.007>
- Pilbala, A., Shafai Bejestan, M., Sajjadi, S. M., & Fraccarollo, L. (2023). Investigation of the Different Models of Elliptical-Lopac Gate Performance under Submerged Flow Conditions. *Water Resources Management*, 37(9), 3527-3542. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03512-1>
- Shaddehi, F. R., & Bijankhan, M. (2020). Experimental study on free and submerged multi-jets. *Flow Measurement and Instrumentation*, 75, 101805. <https://doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2020.101805>
- Shafai Bajestan, M., Kazemi Hasanvand, K., & Zeinivand, M. (2022). 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*, Ready for publication paper . <https://doi.org/10.22055/jise.2022.38726.1993> [In Persian]
- Shafa'i Bajestan, M., Zainivand, M., & Tahmasabipour, M. (2019). Elliptical salon valve discharge coefficient with gradual conversion in submerged conditions. *Journal of Hydraulics*. 15(2), 67-80. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2020.225028.1449> [In Persian]
- Yousafund, F., Manem, M.J., & Kavianpour, M.R. (2014). Laboratory and analytical evaluation of the discharge coefficient of the salon valve in submerged flow conditions. *Iran Irrigation and Drainage Journal*, 9(5), 811-819. https://idj.iaid.ir/article_55126.html [In Persian]