

Research Paper

Hydraulic Investigation of The Flow Through Multiple Rectangular Lopac Gate Valves In Free Flow And Submerged Mode By Flow3D Software.

Mohammad karamdokht Behbahani¹, Seyed Mohsen Sajjadi^{2*}, Javad Ahadiyan³

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

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

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



10.22125/IWE.2024.437092.1786

Received:
January 22, 2024

Accepted:
May 4, 2024

Available online:
June 29, 2024

Keywords:
Lopac gate, submerged current, velocity, energy consumption, vortex, FLOW3D

Abstract

Lopac gates are a new design of gates designed to regulate and manage water level fluctuations. In this research, an advanced design of this type of structure is mentioned, in which the gates are installed in pairs next to each other and are called multiple lopac gates. The purpose of this research is to investigate the hydraulic parameters such as (velocity, energy consumption, and turbulent energy) in the proposed structure in the submergence state with an absorption rate of 70% and compare it in the case when the current is in a free state. All the simulations have been modeled with 3 opening rates of 35, 40, and 45 degrees and at 3 flow rates of 25, 35, and 45 l/s using Flow3d software. The results showed that in the submerged state, the maximum velocity and depreciation compared to the free state in all experiments decreased on average by 31.55 and 61.04, respectively, and the maximum rate of this decrease for all parameters was in the most opening rate (35 degrees) and the lowest flow rate is 68.93 and 109.49, respectively. Finally, the investigations show that when using the multiple rectangular lopac gates in the free state, large vortices with high power and a wide distribution field can be seen in the channel, which continues to the downstream of the gate, but when using the multiple rectangular salon valve in the submerged state, the strength of the vortices decreases.

* **Corresponding Author:** Seyed Mohsen Sajjadi
Address: Associate Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Email: m.sadjadi@scu.ac.ir
Tel: 09161711509

1. Introduction

Lopac gates are a new design of gates, designed in 1989 by (Peter Langeman) to regulate and manage water level fluctuations. The purpose of this research is to hydraulically investigate the current passing through multiple rectangular lopac gates in free current and submerged state and to investigate parameters such as velocity, energy consumption, and current vortices by FLOW3D software.

2. Materials and Methods

In this research, the effective hydraulic parameters such as (velocity, energy consumption, and turbulent energy) are investigated in the proposed structure in the submerged state with a submergence rate of 70% and its comparison in the state when the flow is in a free state. All the simulations have been modeled with 3 opening rates of 35, 40, and 45 degrees and at 3 flow rates of 25, 35, and 45 liters per second and with using Flow3d software. All simulations have been done with experiments, calibrated by Pilbala et al. (2021). The results and investigations carried out regarding the calibration revealed that the RNG disturbance model and the number of meshing cells of 1000000 had the closest answer to the laboratory sample. As a result, for the simulations carried out in this research, the RNG disturbance model and the number of mesh cells were used at 1000000.

3. Results

In this section, were investigated the effect of opening rate and flow rate changes on hydraulic parameters such as velocity, energy consumption, and current vortices. The results showed that in the submerged state, the maximum speed and depreciation compared to the free state in all experiments decreased on average by 31.55 and 61.04, respectively. Also, when using the multiple rectangular lopac gate in the free state, large vortices with high power and a wide distribution field can be seen in the channel, which continues to the gate downstream. But when using the multiple rectangular lopac gate in the submerged state, it reduces the strength of the vortices.

4. Discussion and Conclusion

In the velocity section, the results showed that these values increased with the increase of flow rate in constant openings, and with the increase of opening in constant flow rate, this value will decrease. In the study of changes in energy consumption, the results showed that energy consumption has an inverse relationship with opening, in such a way that with the increase of opening, this value takes on an increasing trend. Finally, the investigations regarding the current vortices show that when using the multiple rectangular lopac gate in the free mode, large vortices with high power and a wide distribution field are seen in the channel, which continues to the downstream of the gate. But when using the multiple rectangular lopac gate in the submerged state, decreases the strength of the vortices.

5. Six important references

- 1) Alhamid, A.A., 1999. Coefficient of discharge for free flow sluice gates. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 11(1), pp.33-47.
- 2) Aqua Systems 2000 Incorporation (AS21). (2013). *Leaders in Water Management and Control*. Retrieved from: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate>.
- 3) Negm, A.M., Abdelaal, G.M., Elfiky, M.M., Abdalla, Y.M. and Afifi, M. 2006. Effects of Multi-Gates Operations on Bottom Velocity Pattern Under Submerged Flow Conditions. *Proc. IWTC10*, 1, pp.217-280.
- 4) Oad, R. and Kinzli, K. 2006. SCADA Employed in Middle Rio Grande Valley to Help Deliver Water Efficiently. News letter of the water center at Colorado State University [online] 10 August.
- 5) Pilbala, A., Shafai Bejestan, M., Sajjadi, S.M. and Fraccarollo, L. 2023. Investigation of the Different Models of Elliptical-Lopac Gate Performance under Submerged Flow Conditions. *Water Resources Management*, pp.1-16.
- 6) Pilbala, A., Sajjadi, S.M. and Shafai Bejestan, M. 2021. Hydraulic performance of elliptical-LOPAC gate under submerged flow conditions. *Ain Shams Engineering Journal*, 12(1), pp.317-3



بررسی هیدرولیکی جریان عبوری از دریچه‌های سالونی مستطیلی چندگانه در حالت جریان آزاد و مستغرق توسط نرم‌افزار FLOW3D

محمد کرم دخت بهبهانی^۱، سید محسن سجادی^{۲*}، جواد احدیان^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۱۱/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵

مقاله پژوهشی

چکیده

دریچه‌های سالونی طرح نوینی از دریچه‌ها بوده که به جهت تنظیم و مدیریت نوسان‌های سطح آب طراحی شده است. در این پژوهش طرح پیشرفته‌ای از این نوع سازه عنوان شده که در آن دریچه‌ها به صورت جفت در کنار یکدیگر نصب شده و اصطلاحاً دریچه‌های سالونی چندگانه نام گرفته‌اند. هدف از انجام این پژوهش بررسی پارامترهای هیدرولیکی نظیر سرعت، استهلاک انرژی و گردابه‌های جریان در سازه مطروح شده در حالت مستغرق با میزان استغراق ۷۰٪ و مقایسه آن در حالتی است که جریان در حالت آزاد می‌باشد. کلیه شبیه‌سازی‌ها با ۳ میزان بازشدگی ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه و در ۳ دبی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه و با استفاده از نرم‌افزار FLOW3D مدل‌سازی شده است. نتایج نشان داد که در حالت مستغرق سرعت بیشینه و استهلاک نسبت به حالت آزاد در تمامی آزمایشات به طور متوسط به ترتیب ۳۱/۵ و ۶۱ درصد کاهش یافته که بیشترین میزان این کاهش برای تمامی پارامترها در بیشترین بازشدگی (۳۵ درجه) و کمترین دبی عبوری بوده که مقادیر آن به ترتیب برابر با ۶۸/۹۳ و ۱۰۹/۴۹ می‌باشد. در نهایت بررسی‌ها نشان می‌دهد که در هنگام استفاده از دریچه سالونی مستطیلی چندگانه در حالت آزاد گردابه‌های بزرگ با قدرت بالا و میدان توزیع وسیع در کانال دیده می‌شود که تا پایین دست دریچه نیز ادامه دارد، اما در زمان استفاده از دریچه سالونی مستطیلی چندگانه در حالت مستغرق قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: دریچه سالونی، جریان مستغرق، سرعت، استهلاک انرژی، گردابه، FLOW3D

^۱ - کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. Karamdokhtmohamad@gmail.com

^{۲*} - دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. m.sadjadi@scu.ac.ir

^۳ - استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. j.ahadiyan@scu.ac.ir



مقدمه

به جهت تنظیم سطح آب و یا کنترل دبی عبوری جریان در کانال‌های آبیاری از سازه‌های کنترل‌کننده جریان استفاده می‌شود. این نوع از سازه‌ها انواع مختلفی داشته که یکی از مهم‌ترین آن‌ها دریچه‌ها می‌باشند (الحمید ۱۹۹۹). دریچه‌های سالونی طرح نوینی از دریچه‌ها بوده که در سال ۱۹۸۹ توسط (peter Lange man) به جهت تنظیم و مدیریت نوسان‌های سطح آب طراحی شده است (لانگمن و همکاران، ۲۰۰۶). این سازه با طرحی مشابه با درب‌های سالن طراحی شده و صفحات تشکیل‌دهنده آن به دیواره‌های کانال لولا شده و رقوم سطح آب بالادست خود را در دبی‌های مختلف، با افزایش و یا کاهش میزان بازشدگی در امتداد جریان تنظیم می‌نماید. تاکنون پروژه‌های موفقیت‌آمیزی در زمینه دریچه سالونی اجرایی شده که می‌توان به پروژه (Middle Rio Grand) در نیومکزیکو ایالات متحده اشاره نمود (آواد و کینزلی ۲۰۰۶). آکواسیستم (۲۰۱۳) آستانه استغراق دریچه سالونی را ۰/۳ معرفی کرده و معادلات دبی را در شرایط جریان آزاد و مستغرق برای این سازه ارائه نموده است. هنگامی که درجه استغراق کمتر از ۰/۳ باشد، جریان عبوری از دریچه آزاد بوده و چنانچه این مقدار بیشتر از ۰/۳ باشد جریان مستغرق خواهد بود. بایابی فقیه‌محله و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی آزمایشگاهی تاثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه‌ی دریچه سالونی-پارشال فلوم پرداختند. نتایج نشان داد جریان پایین‌دست مستغرق بر روی سازه دریچه سالونی پارشال فلوم موجب افزایش افت انرژی در استغراق‌های ۶۰، ۷۰ و ۸۰٪، به ترتیب به مقدار ۴۷/۳، ۴۴/۴ و ۳۹/۱٪ می‌گردد. رضائی شادهی و بیژن‌خوان (۲۰۲۰) به مطالعه‌ی تجربی جت‌های آزاد و مستغرق پرداخته و با استفاده از تحلیل باکینگهام، یک فرمول کلی مرتبط با پرش هیدرولیکی آزاد برای تخمین ضریب تصحیح حرکت پیشنهاد دادند. نتایج نشان داد فرمول بدست آمده در دریچه‌های موازی تمایز بین شرایط جریان آزاد و مستغرق را افزایش می‌دهد. در نهایت، یک فرمول دبی بی بعد برای تخمین نرخ جریان مستغرق از طریق دریچه‌های موازی با دهانه‌ها و عرض‌های مختلف ارائه شده است. شفاعی بجستان و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی آزمایشگاهی ضریب

دبی عبوری از دریچه سالونی بیضوی با ایجاد تبدیل تدریجی در شرایط مستغرق پرداختند. نتایج نشان داد با نصب این سازه در بالادست دریچه، ضریب دبی ۳۶/۹٪ افزایش یافته و همچنین در تمامی استغراق‌ها و بازشدگی‌ها با افزایش زاویه تبدیل تدریجی، ضریب دبی نیز افزایش خواهد یافت. پیل بالا و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ی آزمایشگاهی به بررسی دریچه سالونی بیضوی در شرایط مستغرق پرداخته شد. 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٪ افزایش یابد.

شفاعی بجستان و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی عددی تاثیر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیکی جریان پرداختند. بررسی نتایج نشان داد که پس از نصب این سازه، خطوط جریان با شکستگی کمتری وارد دریچه شده و اندازه و تعداد گردابه‌های به وجود آمده در پایین‌دست دریچه کاهش می‌یابند. همچنین با افزایش کشیدگی تبدیل تدریجی سهموی به سمت بالادست دریچه، میزان افت انرژی نسبی ۲۷/۷٪ کاهش یافته و میزان ضریب آبگذری دریچه ۲۴٪ افزایش می‌یابد. مبارک و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تاثیر نسبت‌های بیضوی متفاوت بر عملکرد هیدرولیکی دریچه سالونی بیضوی پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش نسبت بیضوی، استهلاک انرژی از ۸ تا ۲۰٪ و سرعت جریان از ۲۲ تا ۵۴٪ کاهش پیدا خواهد کرد. همچنین در نسبت‌های بیضوی بزرگ‌تر از ۱ گردابه‌ها و انحراف جریان از مسیر کاهش می‌یابد. محمودی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی موضعی پایین‌دست دریچه‌های کشویی موازی پرداختند. نتایج نهایی نشان داد که اندازه و ابعاد حفرات آبشستگی موضعی تابعی از بهره‌برداری متقارن و یا نامتقارن از دریچه‌ها می‌باشد. علاوه بر این با کاهش عرض دریچه‌های باز نسبت به عرض کانال، ابعاد و اندازه‌ی حفرات آبشستگی نسبت به حالت‌های پرش هیدرولیکی کلاسیک، افزایش خواهد یافت. پیل بالا و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی عددی عملکرد دریچه سالونی بیضوی در شرایط

(VOF) از تحلیل هم‌زمان معادلات ناویر - استوکس جریان متلاطم و از طریق سعی و خطا و با انواع روش‌های CFD، باهدف نمایش رفتار سیال در سطوح آزاد استفاده می‌گردد. این نرم‌افزار شامل مدل‌های آشفتگی مختلفی بوده که باتوجه به تعداد معادلات دیفرانسیل جهت ارتباط تنش‌های تلاطم با سرعت‌های متوسط‌گیری شده یا گرادیان آن‌ها شامل، مدل‌های صفر معادله‌ای (طول اختلاط پرانتل)، مدل‌های تک معادله‌ای، مدل‌های دو معادله‌ای ($k-\epsilon$)، مدل‌های دارای معادله تنش (RNG)، مدل‌های شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) که متداول‌ترین آن‌ها در بحث سازه‌های هیدرولیکی مدل‌های ($k-\epsilon$)، (RNG) و (LES) می‌باشد.

مشخصات مدل آزمایشگاهی و هندسه مدل عددی

برای اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی عددی از نتایج مدل آزمایشگاهی پیل بالا و همکاران (۲۰۲۱) استفاده شده‌است. مدل آزمایشگاهی متشکل از یک کانال مستطیلی باز به طول ۱۰ متر می‌باشد. عرض و ارتفاع کانال اصلی برابر ۰/۸ متر بوده و شیب بستر کانال مستطیلی افقی است. در مدل آزمایشگاهی پیل بالا و همکاران، در مجموع ۴۵ آزمایش با در نظر گرفتن ۳ دبی (۲۰، ۴۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه)، ۵ زاویه بازشدگی (۲۰، ۲۲/۵، ۳۰، ۳۷/۵ و ۴۵ درجه) و ۳ نسبت استغراق (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درصد) انجام شد. همچنین به منظور مدل‌سازی کانال آزمایشگاهی و طراحی دریاچه‌ی مورد بررسی از نرم‌افزار AutoCAD استفاده شد و پس از ترسیم آن به صورت سه بعدی، در قالب فایل STL تهیه و به نرم‌افزار FLOW3D معرفی شد. طرح کلی مدل پیل‌بالا و همکاران و دریاچه‌ی چندگانه‌ی مورد مطالعه در شکل (۱) نشان داده شده است.

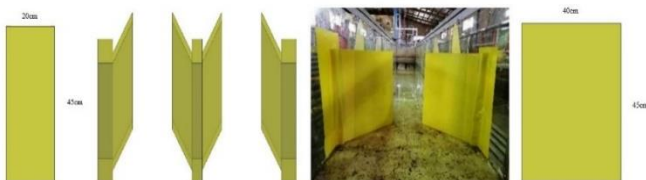
جریان مستغرق پرداختند. آنان مقادیر ضریب آبگذری و استهلاک انرژی را در دبی، بازشدگی و نسبت‌های بیضوی مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد، در نسبت بیضوی $n=1$ کمترین نرخ اتلاف انرژی نسبی (۰/۷/۹) رخ داده است.

با توجه به مطالعات اخیر، تاکنون تمامی بررسی‌های مرتبط با دریاچه سالونی به‌طور عمده در حالت تک دریاچه انجام شده و تاثیر استفاده از دو دریاچه به جای تک دریاچه مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این پژوهش تاثیر کاربرد دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه بر خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند میدان سرعت، استهلاک انرژی و گردابه‌های جریان، در دو حالت جریان آزاد و مستغرق با هدف افزایش کارایی و همچنین ارتقاء و صرفه‌جویی در هزینه‌های طراحی و ساخت، در شبکه انتقال آب مورد بررسی قرار گرفت.

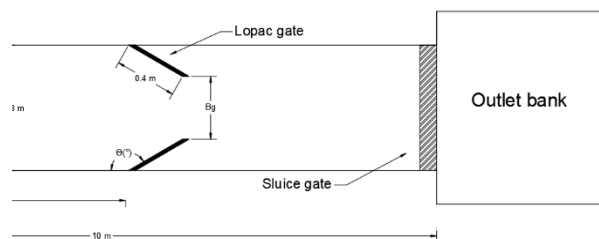
مواد و روش

معرفی مدل FLOW3D

در این پژوهش، به جهت مدل‌سازی جریان از دو دریاچه سالونی مستطیلی بر روی کانال از نرم‌افزار شبیه‌سازی سیالات (FLOW3D) استفاده شده است. این نرم‌افزار حل معادلات سه‌بعدی حرکت سیال را در مسائل چندفازی سهولت بخشیده و با به‌کارگیری از تکنیک TruVOF برای شبیه‌سازی سطح آزاد جریان به مدل‌سازی خواهد پرداخت. در این نرم‌افزار از دو روش مدل‌سازی عددی استفاده خواهد شد. روش (FAVOR) که به‌عنوان روش نماینده کسر مساحت - حجم مانع معرفی می‌شود برای شبیه‌سازی سطوح و اجسام صلب استفاده می‌شود. همچنین از روش

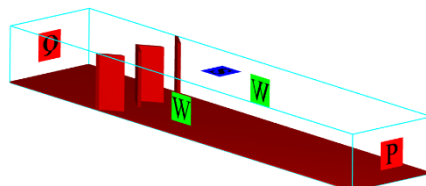


شکل (۱): نمای دریاچه سالونی مستطیلی آزمایشگاهی و مدل عددی مورد مطالعه





ورودی، مرز خروجی نیز به علت خروج جریان به صورت جریان خروجی انتخاب گردید. دیواره‌های جانبی شبکه سلول‌های محاسباتی و همچنین کف بلوک مش‌بندی در حالت دیوار تنظیم شده و سقف این بلوک نیز به علت وجود هوا به صورت شرط مرزی متقارن در نظر گرفته شده‌است.



شکل (۲): بلوک شبکه مش‌بندی و شرایط مرزی مدل در چپه سالونی چندگانه در نرم‌افزار FLOW3D

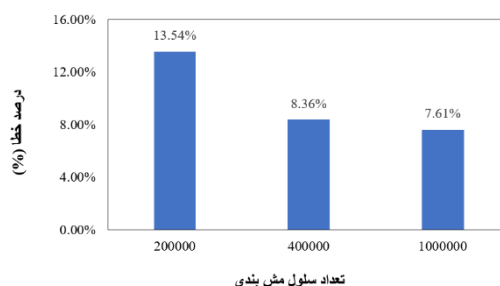
مدل‌سازی شرایط مرزی

در این پژوهش باتوجه به شکل (۲) از یک بلوک مش-بندی استفاده شده که در آن شرایط مختلف مرز بندی شبکه سلول محاسباتی به شکل مرز ورودی به صورت دبی

مش‌بندی عددی (۱۰۰۰۰۰۰) شبیه‌سازی شده و نتایج آن مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. پس از بررسی مش‌بندی‌های مختلف در نهایت برای تمامی شبیه‌سازی‌ها تعداد یک میلیون سلول مش در نظر گرفته شد. همچنین زمان شبیه‌سازی با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای رسیدن جریان عبوری از دریچه به پایداری ۵۰ ثانیه انتخاب شده است. با توجه به شکل (۳) و انجام یک‌سری مدل‌سازی در بخش انتخاب مش‌بندی نتایج نشان داد با افزایش تعداد سلول مش‌بندی و افزایش زمان شبیه‌سازی خطای محاسباتی کاهش بسیار جزئی داشته و مدت زمان شبیه‌سازی افزایش قابل توجهی خواهد داشت.

مش‌بندی مدل عددی

اولین گام در مدل‌سازی عددی انتخاب یک مش‌بندی مناسب و بهینه برای انجام شبیه‌سازی می‌باشد. باید تعداد شبکه مش‌بندی به صورتی انتخاب شود که دارای کمترین خطای نرم‌افزاری باشد و این از مهمترین پارامترهای مؤثر در یک شبیه‌سازی عددی صحیح است. به جهت دستیابی به یک مش‌بندی بهینه از یک مدل آزمایشگاهی دریچه سالونی مستطیلی در حالت تک دریچه با (زاویه بازشدگی ۳۵ درجه، دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و میزان استغراق ۰.۷٪)، با تعدادهای مختلف سلول مش‌بندی (۲۰۰۰۰۰، ۴۰۰۰۰۰ و



شکل (۳): نتایج آنالیز مش‌بندی بهینه

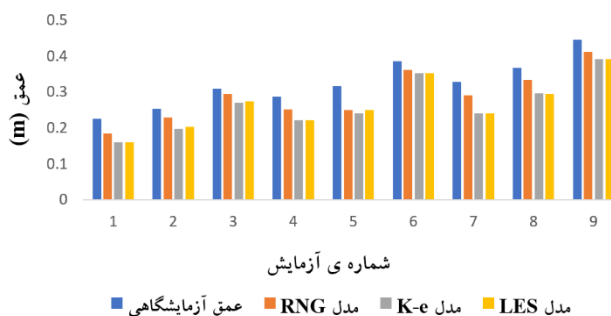
و بررسی قرار گرفت. با بررسی‌های انجام شده بین شبیه‌سازی‌ها و مقایسه مقادیر بدست آمده با مدل آزمایشگاهی، با توجه به شکل (۴) مشخص شد مقادیر بدست آمده در مدل عددی با استفاده از مدل آشفتگی RNG نسبت به

مدل‌سازی آشفتگی

گام دوم در مدل‌سازی عددی انتخاب مدل آشفتگی مناسب بوده که دارای نزدیک‌ترین جواب در مقایسه با مدل آزمایشگاهی باشد. به این منظور، نه مدل از پژوهش پیل بالا و همکاران (۲۰۲۱) با سه مدل آشفتگی (LES)، (RNG)، (K-e) و در مجموع ۲۷ شبیه‌سازی مورد ارزیابی

دیگر مدل‌های آشفتگی از عملکرد بهتری برخوردار بوده و خطای کمتری نسبت به مقادیر آزمایشگاهی داشته است.

مدل‌های آشفتگی



شکل (۴): مقادیر خطای عمق بالادست عددی نسبت به مدل آزمایشگاهی با تغییر مدل آشفتگی

شبیه‌سازی می‌باشد، نه مدل متفاوت نسبت به گام دوم از آزمایش‌های پیل بالا و همکاران با تعداد سلول مش‌بندی و مدل آشفتگی مشخص شده در گام‌های پیشین شبیه‌سازی و به ارزیابی نتایج آن و مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده با مدل آزمایشگاهی پرداخته شد. پس از بررسی‌ها و ارزیابی نتایج و با استفاده از ابزارهای محاسبه درصد خطا مشخص شد که مدل‌سازی‌های انجام‌شده در نرم‌افزار FLOW3D تفاوت چندانی نسبت به مقادیر آزمایشگاهی نداشته و از درصد خطای کمی برخوردار بوده که آن در جدول (۱) آمده است

اعتبارسنجی مدل عددی

در این پژوهش به جهت اعتبارسنجی مدل عددی و کاهش خطاهای نرم‌افزاری، به انتخاب تعداد سلول مش‌بندی بهینه و مدل آشفتگی مناسب برای مدل شبیه‌سازی پرداخته شد. به این منظور از مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از مدل عددی با اطلاعات مدل آزمایشگاهی پیل بالا و همکاران، (۲۰۲۱) استفاده شده که برای این مقایسه از پارامتر عمق آب بالادست دریچه استفاده شد. به‌منظور اعتبارسنجی مدل عددی که مهم‌ترین گام در انجام یک

جدول (۱): نتایج صحت‌سنجی مدل عددی نسبت به مدل آزمایشگاهی

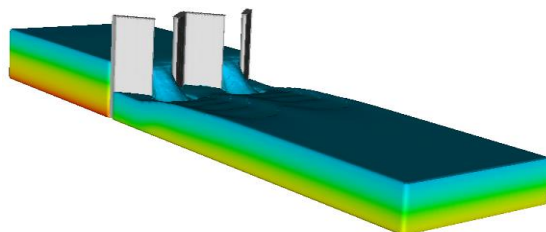
آزمایش	مدل آشفتگی	تعداد سلول مش-بندی	عمق جریان بالادست مدل آزمایشگاهی (m)	عمق جریان بالادست عددی (m)	MAD	RMSE	MAPE(%)
۱	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.1735	0.1589			
۲	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.187	0.1741			
۳	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.235	0.2242			
۴	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.2125	0.1931			
۵	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.229	0.2144	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۶۸۷	۷/۰۰۴
۶	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.2798	0.2628			
۷	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.2478	0.2244			
۸	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.2694	0.2482			
۹	RNG	۱۰۰۰۰۰۰	0.3238	0.3101			

شرح انجام آزمایش



مقایسه‌ی پارامترهای هیدرولیکی آن مانند میدان سرعت، استهلاک انرژی و گردابه‌ها در دو حالت جریان آزاد و مستغرق با استغراق ۷۰٪ می‌باشد. در شکل شماره‌ی (۵) نمای دریاچه سالونی مستطیلی در حالت دو دریاچه، بر روی کانال مورد بررسی نشان داده شده‌است

تاکنون پژوهش‌های انجام شده در زمینه هیدرولیک دریاچه به طور عمده در حالت تک دریاچه انجام شده است. هدف بررسی هیدرولیکی استفاده از دو دریاچه به صورت، با ابعاد صفحات کوچک‌تر و با ارتفاع و عرض به ترتیب ۴۵ و ۲۰ سانتی‌متر و سه میزان بازشدگی مختلف ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه و سه دبی متفاوت ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه و



شکل (۵): نمای کلی دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه مورد بررسی در نرم‌افزار FLOW3D

بحث و نتایج

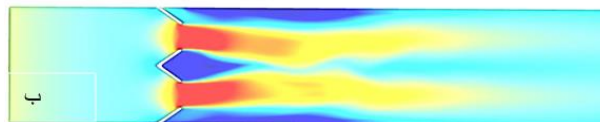
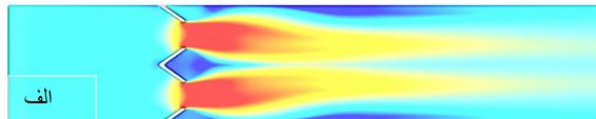
همچنین قابل مشاهده است که به دلیل کاهش جریان‌های ثانویه، هد آب در بالادست و پایین دست دریاچه افزایش یافته و در نتیجه این اتفاق، میدان سرعت جریان در حالت مستغرق نسبت به میدان سرعت جریان در حالت آزاد کاهش یافته است. همچنین شکل (۸) نشان می‌دهد که جریان سیال در شکل‌های (۸الف و ۸ب) به ترتیب در حالت آزاد، به دلیل ایجاد گردابه‌های بزرگ در مرکز کانال به سمت دیواره‌ها و در حالت مستغرق، به دلیل ایجاد گردابه در اطراف دریاچه، به سوی مرکز کانال منحرف شده است. کل (۹) نشان دهنده تغییرات سرعت حداکثری جریان در حالت آزاد و مستغرق نسبت به بازشدگی‌های بدون بعد بوده که در آن محور عمود مربوط به تغییرات سرعت بیشینه و محور افقی آن تغییرات بازشدگی دریاچه را نشان می‌دهد. با مشاهده شکل (۹) مشخص است که سرعت بیشینه با بازشدگی دریاچه رابطه معکوس و با دبی جریان رابطه مستقیم دارد. قابل مشاهده است که با افزایش دبی در بازشدگی‌های ثابت سرعت جریان افزایش یافته و با افزایش میزان بازشدگی دریاچه (کاهش تنگ‌شدگی) در دبی‌های ثابت این مقدار روندی کاهشی به خود گرفته است. نتایج نشان داد سرعت حداکثر در تمامی دبی‌ها و

در بخش نتایج، کاربرد دو دریاچه سالونی در دو حالت جریان آزاد و مستغرق با استغراق ۷۰٪ را در شرایط مشابه شامل دبی جریان، عرض و میزان بازشدگی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان شامل میدان سرعت، استهلاک انرژی و گردابه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. منظور از استغراق ۷۰٪، نسبت عمق جریان پایین دست به بالادست دریاچه می‌باشد. **بررسی میدان سرعت جریان اطراف دریاچه‌های سالونی مستطیلی چندگانه**

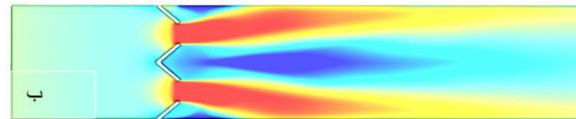
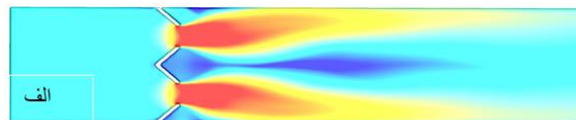
در شکل‌های (۶ تا ۸) میدان سرعت در دریاچه‌های سالونی چندگانه در دو حالت آزاد و مستغرق در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی‌های (۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه)، در عمق یک سانتی‌متری از کف کانال نشان داده شده است و روند آن برای دبی‌های دیگر نیز صدق می‌کند. با توجه به میدان سرعت ایجاد شده در کانال مشخص است که سرعت جریان با میزان بازشدگی رابطه مستقیم دارد. هرچه میزان بازشدگی افزایش یابد (تنگ‌شدگی کاهش یابد) محدوده توزیع نیز افزایش خواهد یافت. شکل‌های (۶الف و ۶ب) نشان می‌دهد که در حالت آزاد و مستغرق جریان به مرکز کانال و در شکل‌های (۷الف و ۷ب) جریان به سمت دیواره‌ها منحرف شده است.

مشخص شد که بیشترین میزان کاهش سرعت حداکثر جریان در حالت مستغرق نسبت به جریان آزاد در بیشترین بازشدگی دریاچه (۳۵ درجه) و کمترین دبی (دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه) به مقدار ۶۸/۹۳٪ بوده و کمترین میزان کاهش این مقدار مربوط به بازشدگی ۴۵ درجه و دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه با مقدار ۱/۹۷٪ بوده است.

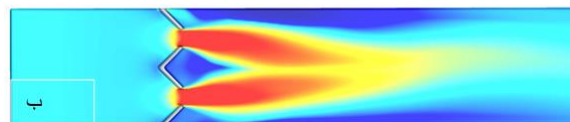
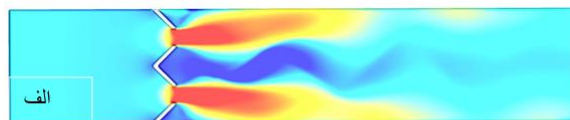
بازشدگی‌ها در حالت جریان مستغرق نسبت به حالت جریان آزاد کاهش یافته به محوی که این مقدار کاهش به‌طور متوسط ۳۱/۵۶٪ بوده است. با بررسی میانگین سرعت عرضی در فاصله‌ی یک متری از پایین‌دست دریاچه نیز سرعت کاهش داشته و مقدار این کاهش به‌طور میانگین در دبی‌ها و بازشدگی‌های متفاوت ۷٪ می‌باشد. همچنین



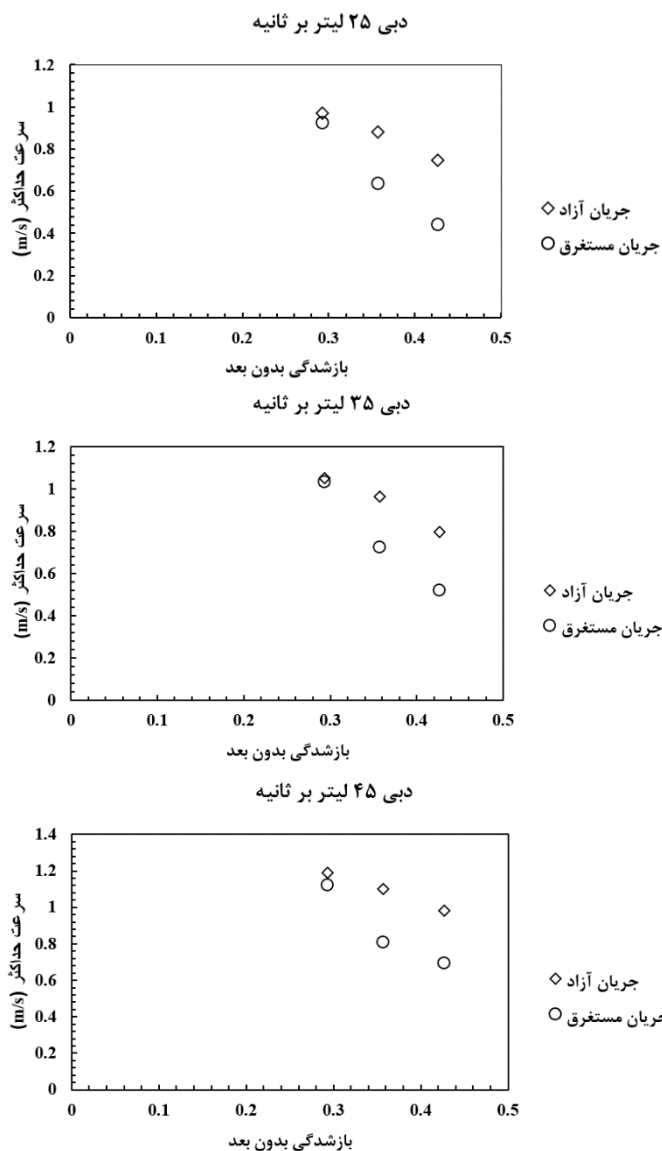
شکل (۶): توزیع سرعت در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۳۵ درجه الف) جریان آزاد ب) جریان مستغرق



شکل (۷): توزیع سرعت در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و شدگی ۴۰ درجه الف) جریان آزاد ب) جریان مستغرق



شکل (۸): توزیع سرعت در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی ۴۵ درجه الف) جریان آزاد ب) جریان مستغرق



شکل (۹): بررسی تغییرات سرعت حداکثر در دو حالت جریان آزاد و مستغرق

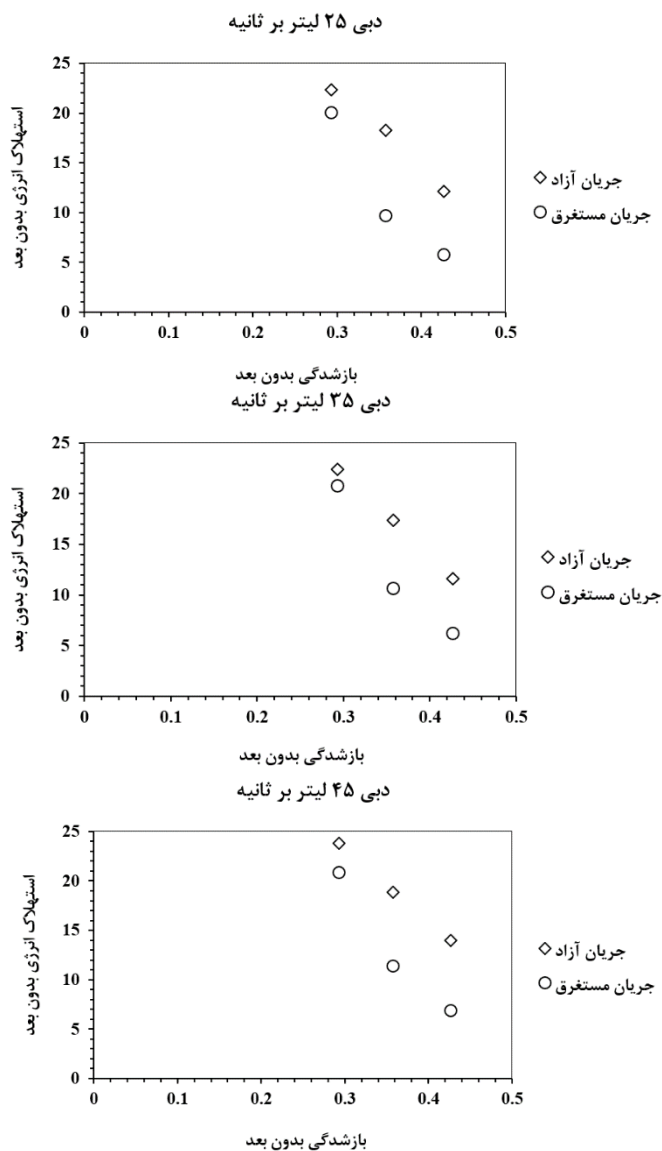
بررسی استهلاک انرژی در بچه‌های سالونی چندگانه

افت انرژی جریان $(\Delta E = (E_1 - E_2) / E_1)$ ، برای توصیف رفتار جریان در اطراف دریچه‌های سالونی مهم است. E_1 مقدار انرژی در بالادست دریچه و مقدار E_2 انرژی در پایین دست دریچه می باشد. bg/B نشان دهنده دی بازشدگی بدون بعد بوده که در آن، b_g میزان بازشدگی دریچه بوده و B عرض کانال می باشد. شکل (۱۰) نشان دهنده تغییرات استهلاک انرژی در دو حالت جریان آزاد و مستغرق نسبت به بازشدگی‌های دریچه بوده که در آن بازشدگی و استهلاک انرژی به ترتیب به صورت bg/B و $\Delta E/E_1$ بی بعد شده است. باتوجه به شکل (۱۰) مشاهده میشود که بین

استهلاک انرژی و بازشدگی دریچه رابطه‌ی معکوس برقرار بوده است. به این صورت که با افزایش درجه بازشدگی دریچه (کاهش تنگ‌شدگی) این مقدار مرتباً کاهش یافته است. همچنین با توجه به شکل (۱۰) قابل مشاهده است که مقادیر عددی انرژی مستهلاک شده‌ی جریان در حالت مستغرق نسبت به حالت آزاد جریان بر روی دو دریچه‌ی سالونی در تمامی دبی‌ها و بازشدگی‌ها کاهش یافته‌است که مقدار آن به طور متوسط ۶۱٪ بوده‌است. بیشترین میزان کاهش استهلاک انرژی در حالت جریان مستغرق نسبت به حالت جریان آزاد مربوط به بیشترین میزان بازشدگی (۳۵)

درجه) و در دبی (۳۵ لیتر بر ثانیه) به مقدار ۷/۵٪ بوده است

درجه) و در کمترین دبی جریان (۲۵ لیتر بر ثانیه) به مقدار ۱۰۹٪ و کمترین مقدار کاهش آن مربوط به بازشدگی (۴۵)



شکل (۱۰): بررسی تغییرات سرعت در دو حالت جریان آزاد و مستغرق

چندگانه در حالت آزاد گردابه‌های بزرگ با قدرت بالا و میدان توزیع وسیع در کانال دیده می‌شود که تا پایین دست دریچه نیز ادامه دارد، اما در زمان استفاده از دریچه سالونی مستطیلی چندگانه در حالت مستغرق قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش میزان استغراق جریان در پایین دست دریچه، هد آب افزایش پیدا کرده که این امر

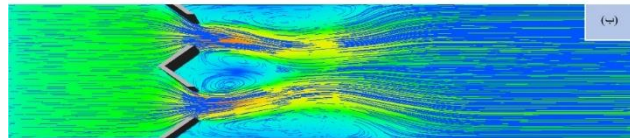
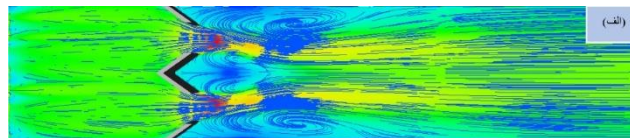
بررسی گردابه‌های جریان دریچه‌های سالونی چندگانه

باتوجه به شکل‌های (۷ تا ۹) خطوط جریان در دبی ثابت ۲۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی‌های ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه، میزان استغراق ۷۰ درصد و در عمق یک سانتی‌متری نسبت به کف کانال، برای دریچه‌های سالونی مستطیلی چندگانه در حالت آزاد و مستغرق رسم شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در هنگام استفاده از دریچه سالونی مستطیلی

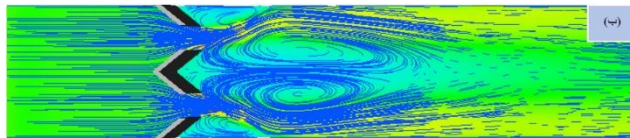
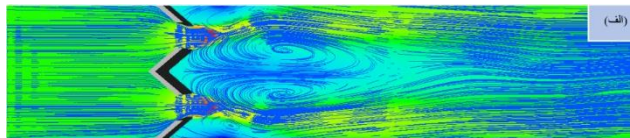


آزاد و مستغرق به سمت مرکز فلوم منحرف شده که این امر باعث ایجاد گردابه های وسیع در نزدیکی دیواره های فلوم می شود. شکل (۱۱) نشان می دهد که جریان در زمان استفاده از دریچه های سالونی چندگانه در دو حالت آزاد و مستغرق به سمت دیواره های کانال منحرف شده، که نتیجه این انحراف، ایجاد گردابه های بزرگ در مرکز فلوم و گردابه های کوچک در نزدیکی دریچه و دیواره های فلوم می باشد. در نهایت در شکل (۱۳) نتایج نشان می دهد که جریان در زمان استفاده از دریچه های سالونی چندگانه در حالت آزاد به سمت دیواره های کانال منحرف شده و در حالت مستغرق به سمت مرکز کانال منحرف می گردد که این امر باعث ایجاد گردابه هایی در نزدیکی دریچه ها، در محدوده مرکز کانال و دیواره های آن می شود

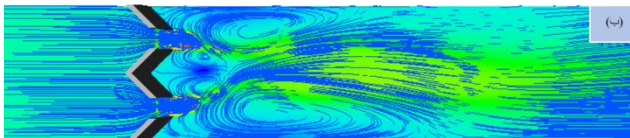
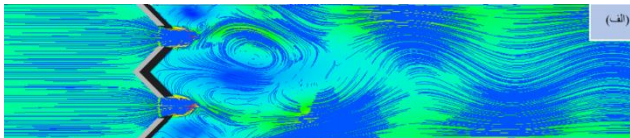
باعث می شود قدرت و ابعاد گردابه های ایجاد شده در اطراف دریچه های سالونی در شرایط جریان مستغرق نسبت به حالت آزاد جریان کاهش پیدا کند. همچنین با بررسی های صورت گرفته مشخص گردید که در دبی ثابت، با افزایش بازشدگی دریچه های سالونی مستطیلی در حالت آزاد و مستغرق کشیدگی و قدرت گردابه ها کاهش چشم گیری می یابد. زیرا هرچه قدر زاویه بازشدگی افزایش یابد، دهانه ی جت دریچه ها تنگ تر می شود. این امر باعث افزایش سرعت جریان آب شده و در نتیجه باعث کاهش وسعت و ابعاد گردابه های ایجاد شده می شود. علاوه بر این نتایج نشان می دهد که گردابه ها بیشتر در نزدیکی دریچه رخ می دهند، که این امر باعث تجمع رسوبات و مواد معلق در اطراف دریچه می گردد. شکل (۱۱) نشان می دهد که جریان در زمان استفاده از دریچه های سالونی چندگانه در دو حالت



شکل (۱۱): خطوط جریان بر روی دریچه سالونی مستطیلی چندگانه در بازشدهی ۳۵ درجه الف: حالت آزاد ب: حالت مستغرق



شکل (۱۲): خطوط جریان بر روی دریچه سالونی مستطیلی چندگانه در بازشدهی ۴۰ درجه الف: حالت آزاد ب: حالت مستغرق



شکل (۱۳): خطوط جریان بر روی دریچه سالونی مستطیلی چندگانه در بازشدهی ۴۵ درجه الف: حالت آزاد ب: حالت مستغرق



نتیجه گیری

در بخش بررسی تغییرات استهلاک انرژی نتایج نشان داد استهلاک انرژی با بازشدگی دریاچه رابطه‌ی معکوس داشته به این صورت که با افزایش بازشدگی استهلاک انرژی روند افزایشی به خود می‌گیرد. همچنین مشخص شد در جریان مستغرق عبوری از دریاچه‌های سالونی چندگانه استهلاک انرژی نسبت به حالت آزاد آن در تمامی آزمایشات به طور میانگین ۶۱/۰۴ درصد کاهش یافته که بیشترین میزان این کاهش مربوط به بازشدگی ۳۵ درجه و دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه با مقدار ۱۰۹/۴۹ درصد می‌باشد. در نهایت بررسی‌ها در خصوص گردابه‌های جریان نشان می‌دهد که در هنگام استفاده از دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه در حالت آزاد گردابه‌های بزرگ با قدرت بالا و میدان توزیع وسیع در کانال دیده می‌شود که تا پایین دست دریاچه نیز ادامه دارد اما در زمان استفاده از دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه در حالت مستغرق قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد.

در این پژوهش به بررسی پارامترهای مؤثر هیدرولیکی نظیر (سرعت، استهلاک انرژی و گردابه‌های جریان) در نوع جدیدی از دریاچه‌های سالونی تحت عنوان دریاچه‌های سالونی چندگانه در حالت مستغرق با میزان استغراق ۷۰٪ و مقایسه آن در حالتی که جریان در حالت آزاد می‌باشد پرداخته شده است. در بخش سرعت حداکثر نتایج نشان داد در بازشدگی‌های ثابت با افزایش دبی، سرعت حداکثر نیز افزایش یافته و با افزایش بازشدگی در دبی ثابت این مقدار روند کاهشی خواهد داشت. همچنین مشخص شد در جریان مستغرق سرعت بیشینه نسبت به حالت آزاد آن در تمامی آزمایشات به طور میانگین ۳۱/۵۵ درصد کاهش یافته که بیشترین میزان این کاهش مربوط به بازشدگی ۳۵ درجه و دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه با مقدار ۶۸/۹۳ درصد می‌باشد.

منابع

- بابایی فقیه محله، ر.، م. اسمعیلی ورکی، و ب. شفیع‌ی ثابت. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریاچه سالونی-پارشال فلوم. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹(۴)، ۷۱۷-۷۲۷.
- محمودی، ب.، م. همتی، م. یاسی، و س.ا. حمیدی. ۱۴۰۱. بررسی آبشستگی موضعی پایین دست دریاچه‌های کشویی موازی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*. 937-949, 16(5),
- مبارک، ف.، س.م. سجادی، ج. احدیان، و م. زینی وند. ۱۴۰۱. مدل سازی عددی اثر کشیدگی بیضوی بر عملکرد هیدرولیکی دریاچه سالونی بیضوی. مدیریت آب و آبیاری، ۱۲(۲)، ۲۶۳-۲۷۵.
- شفاعی بجستان، م.، ک. کاظمی حسنونند، و م. زینی وند. ۱۴۰۱. مطالعه عددی تأثیر تبدیل تدریجی سهموی در بالادست دریاچه سالونی بیضوی بر شرایط هیدرولیکی جریان. *علوم و مهندسی آبیاری*
- شفاعی بجستان، م.، م. زینی وند، و م. طهماسبی. ۱۳۹۹. ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی همراه با تبدیل تدریجی در شرایط مستغرق. *نشریه هیدرولیک*. 6780, 15(2),

Alhamid, A.A., 1999. Coefficient of discharge for free flow sluice gates. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 11(1), pp.33-47.

Aqua Systems. 2000. Incorporation (AS21). (2013). *Leaders in Water Management and Control*. Retrieved from: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate>.

Langman, P., K. Craig, P. Elser, and L. Alen. Irrigation gate system. US patent. 2006; 7,114,878, B2.

Negm, A.M., G.M. Abdelaal, M.M. Elfiky, Y.M. Abdalla, and M. Afifi. 2006. Effects of Multi-Gates Operations on Bottom Velocity Pattern Under Submerged Flow Conditions. *Proc. IWTC10*, 1, pp.217-280.

Oad, R., and K. Kinzli. 2006. SCADA Employed in Middle Rio Grande Valley to Help Deliver Water Efficiently. Newsletter of the water center at Colorado State University [online] 10 August.



Pilbala, A., M. Shafai Bejestan, S.M. Sajjadi, and L. Fraccarollo. 2023. Investigation of the Different Models of Elliptical-Lopac Gate Performance under Submerged Flow Conditions. *Water Resources Management*, pp.1-16.

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

Shaddehi, F.R., and M. Bijankhan. 2020. Experimental study on free and submerged multi-jets. *Flow Measurement and Instrumentation*, 75, p.101805.