



## Investigation of the effect of different submerging on the flow hydraulic parameters in multiple rectangular Lopac gates

Setareh Fathi<sup>1</sup> | Seyed Mohsen Sajjadi<sup>2</sup> | Javad Ahadiyan<sup>3</sup> | Abbas Parsai<sup>4</sup>

1. Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [setarefathi.98@gmail.com](mailto:setarefathi.98@gmail.com)
2. Corresponding Author, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [m.sadjadi@scu.ac.ir](mailto:m.sadjadi@scu.ac.ir)
3. Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [j.ahadiyan@scu.ac.ir](mailto:j.ahadiyan@scu.ac.ir)
4. Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: [parsaie@scu.ac.ir](mailto:parsaie@scu.ac.ir)

### Article Info

**Article type:**  
Research Article

**Article history:**

Received 24 September 2023

Received in revised form

21 November 2023

Accepted 27 November 2023

Published online 5 September 2024

**Keywords:**

*Flow3D*

*Maximum speed*

*Maximum turbulent energy*

*Vortex*

### ABSTRACT

One of the suggested ways to increase the quality of water distribution and transfer is to use Lopac gates. In this research, rectangular multiple Lopac gates have been used and the hydraulic parameters of the current have been investigated by numerical simulation and compared with the single gate state. The simulations have been performed in three discharges of 25, 35, and 45 liters per second and three openings of 35, 40, and 45 degrees, and three submerging of 70, 80, and 90% in Flow3D software and with the RNG turbulence model. By examining the stage-discharge curve, it can be seen that the permeability coefficient is higher in all absorptions in the two-gate state than in the single-gate state. Investigating the maximum speed of the results showed that this parameter has the opposite relationship with the amount of submerging, as the submerging increases, the maximum speed decreases, which is an 7.87% reduction in the two-gate state compared to the single-gate state. In the investigation of the maximum turbulent energy, the results showed that the turbulent energy has a direct relationship with the discharge and has an inverse relationship with the submerging rate, so, with the increase of submerging, the turbulent energy decreases, which will be 13% in the two-gate state compared to the single-gate state. By qualitatively investigating the flow vortices, the results showed that the vortices in the single-gate state have more strength and elongation than the two-gate state. Also, by investigating the results, it was found that the elongation and vortices strength decrease with the increase in submerging percentage.

**Cite this article:** Fathi, S., Sajjadi, S. M., Ahadiyan, J., & Parsai, A. (2024). Investigation of the effect of different submerging on the flow hydraulic parameters in multiple rectangular Lopac gates. *Journal of Water and Irrigation Management*, 14 (2), 249-261. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.365670.1106>



© The Author(s).

DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.365670.1106>

Publisher: The University of Tehran Press.



## بررسی تأثیر استغراق‌های مختلف بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه

ستاره فتحی<sup>۱</sup> | سیدمحسن سجادی<sup>۲</sup> | جواد احدیان<sup>۳</sup> | عباس پارسائی<sup>۴</sup>

۱. کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [setarefathi.98@gmail.com](mailto:setarefathi.98@gmail.com)
۲. نویسنده مسئول، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [m.sadjadi@scu.ac.ir](mailto:m.sadjadi@scu.ac.ir)
۳. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [j.ahadiyan@scu.ac.ir](mailto:j.ahadiyan@scu.ac.ir)
۴. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: [parsaie@scu.ac.ir](mailto:parsaie@scu.ac.ir)

### چکیده

### اطلاعات مقاله

یکی از راه‌کارهای پیشنهادی در خصوص افزایش کیفیت توزیع و انتقال آب استفاده از دریاچه‌های سالونی است. در این پژوهش از دریاچه سالونی چندگانه مستطیلی استفاده شده است و با شبیه‌سازی عددی پارامترهای هیدرولیکی جریان بررسی و با حالت تک‌دریاچه مقایسه شده است. شبیه‌سازی‌ها در سه دبی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه و سه بازشدگی ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه و سه استغراق ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد در نرم‌افزار Flow3d و با مدل آشفتگی RNG انجام شده است. با بررسی منحنی دبی اشل مشاهده می‌شود که ضریب آبگذری در تمام استغراق‌ها در حالت دو دریاچه از حالت تک‌دریاچه بیش‌تر است. بررسی بیشینه سرعت نتایج نشان داد که این پارامتر با میزان استغراق رابطه عکس دارد، به‌گونه‌ای که با افزایش استغراق، بیشینه سرعت کاهش پیدا می‌کند که این میزان کاهش در حالت دو دریاچه ۷/۸۷ درصد نسبت به حالت تک‌دریاچه است. در بررسی بیشینه انرژی متلاطم نتایج نشان داد که انرژی متلاطم با دبی رابطه مستقیم داشته و با میزان استغراق رابطه معکوس دارد، به‌طوری‌که با افزایش استغراق، انرژی متلاطم کاهش پیدا می‌کند که این میزان کاهش در حالت دو دریاچه ۱۳ درصد نسبت به حالت تک‌دریاچه خواهد بود. با بررسی کیفی گردابه‌های جریان نیز نتایج نشان داد که گردابه‌ها در حالت تک‌دریاچه قدرت و کشیدگی بیش‌تری نسبت به حالت دو دریاچه دارند. همچنین با بررسی نتایج مشخص شد که با افزایش درصد استغراق، کشیدگی و قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد.

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۷/۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۶

تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۶/۱۵

### کلیدواژه‌ها:

بیشینه سرعت

بیشینه انرژی متلاطم

گردابه

Flow3D

**استناد:** فتحی، ستاره؛ سجادی، سیدمحسن؛ احدیان، جواد و پارسائی، عباس (۱۴۰۳). بررسی تأثیر استغراق‌های مختلف بر پارامترهای هیدرولیکی جریان در دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه. نشریه مدیریت آب و آبیاری، ۱۴ (۲)، ۲۶۱-۲۴۹. DOI: <https://doi.org/10.22059/jwim.2023.365670.1106>



## ۱. مقدمه

با توجه به پایین آمدن مقدار آب سطحی، کنترل عمق آب در آبراهه‌ها امری ضروری است (Asadi *et al.*, 2019). از جمله راه‌کارهای پیشنهاد شده در خصوص بالابردن کیفیت تنظیم و توزیع آب نیز افزایش کیفیت سیستم اندازه‌گیری توزیع و انتقال در شبکه آب‌رسانی می‌باشد (Malaterre *et al.*, 1998). دریاچه‌های سالونی از جمله سیستم‌های توزیع و کنترل سطح آب است که در سال‌های اخیر مورد استفاده قرار گرفته است. این نوع دریاچه‌ها از دو لنگه دروازه تشکیل شده است که در امتداد جریان به بدنه کانال متصل می‌شود و با تغییر در میزان بازشدگی دریاچه‌ها، مقادیر سطح آب و دبی عبوری را کنترل می‌کند (Monem and Naghaei, 2013). دریاچه سالونی در سال ۱۹۸۰ توسط شخصی به نام پیتزلانگمن معرفی شد. تاکنون دریاچه سالونی رویکرد قابل توجهی در پروژه‌های اجرایی داشته است که پروژه Middle Rio Grand در نیومکزیکو یکی از موفق‌ترین پروژه‌هایی است که می‌توان نام برد (Langeman *et al.*, 2006).

Aqua system (2000) نظریه‌ای را پیشنهاد کرد که در آن برای درجه استغراق کم‌تر از  $0/3$  جریان عبوری از دریاچه سالونی، آزاد و برای درجه استغراق بالاتر از  $0/3$  جریان عبوری از دریاچه مستغرق در نظر گرفته شده است. Negm *et al.* (2006) با بررسی تأثیر عملکرد چند دریاچه بر روند سرعت در پایین دست جریان مستغرق دریافتند که عواملی همچون نوع دریاچه (اضطراری یا اصلی)، نسبت استغراق و عدد فرود در ناحیه انقباض بر روند سرعت تأثیرگذار است.

در یک ارزیابی Monem and Sadeghi (2014) پژوهشی با هدف بررسی کارکرد دریاچه سالونی و کشویی در مجراهای آب، به کمک مدل هیدرودینامیک ICSS آغاز نمودند. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که دریاچه‌های سالونی در مقایسه با دریاچه کشویی، هنگامی که جریان دارای نوسانات ملایم باشد کارکرد مناسب‌تری در راستای کنترل و تنظیم سطح آب دارند و باعث کاهش تغییرات دبی ورودی به آبگیر می‌شوند.

هم‌چنین Yousefvand *et al.* (2015) با بررسی و تحلیل ضریب آبگذری در دریاچه‌های سالونی در حالت جریان مستغرق به این نتیجه رسیدند که در حالت جریان مستغرق ضریب آبگذری، تابعی از نسبت بازشدگی و استغراق دریاچه است. karami moghadam and Sabzevari (2017) پژوهشی مربوط به بررسی تأثیر پوشش گیاهی بر تنش برشی و سرعت جریان را در کانال‌های مرکب با استفاده از مدل flow3d آغاز نمودند. در این پژوهش از مش‌بندی مستطیلی و مدل آشفتگی RNG و LES استفاده شد که در نهایت مدل LES همخوانی بیش‌تری با داده‌های واقعی داشت. علاوه بر این Babaei Faqih Mahaleh *et al.* (2018) با بررسی تأثیر خصوصیات هندسی و شرایط هیدرولیکی دریاچه سالونی، این سازه را با زاویه بازشدگی و ابعاد مختلف در نظر گرفتند و نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که در بازشدگی ۱۱ و ۲۳ درصد نیز افت انرژی  $29/7$  درصد افزایش پیدا می‌کند.

Badiee and Sajadi (2018) در پژوهشی با کمک مدل‌سازی عددی شرایط هیدرولیکی و خصوصیات جریان در بالادست و پایین دست دریاچه سالونی مورد ارزیابی قرار دادند. اطلاعات حاصل شده نشانگر این بود که در پشت دریاچه پدیده آب‌مردگی شکل می‌گیرد و گردابه‌ها در این بخش با سرعت کم، محل رشد گیاهان و انباشت رسوبات هستند. هم‌چنین تنش برشی در پایین دست دریاچه درست در کف کانال بیش‌ترین اندازه خود را دارد.

Badiee *et al.* (2018) در پژوهشی به بررسی هیدرولیکی دریاچه سالونی در حالت جریان مستغرق پرداختند نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با افزایش دبی، لزجت گردابه‌ای نیز افزایش می‌یابد و گردابه‌های اصلی در پایین دست دریاچه تشکیل می‌شود و باعث حرکت سینوسی شکل در شبکه جریان می‌شود. هم‌چنین با افزایش لزجت گردابه‌ای تنش برشی در مجراهای آب افزایش می‌یابد.

Mobarak *et al.* (2022) پژوهشی را باهدف مدل‌سازی دریاچه‌های سالونی بیضوی در پنج نسبت بیضوی به‌همراه تبدیل ناگهانی، سه دبی و سه بازشدگی مختلف با استفاده از نرم‌افزار Flow3D آغاز نمود. نتایج حاصل از بررسی گردابه‌های جریان نیز نشان می‌دهد، جریان‌های گردابه‌ای و نسبت بیضوی رابطه معکوس دارند. نتایج حاصل از بررسی تنش بررسی کف نشان می‌دهد که در کم‌ترین مقدار بازشدگی و در نسبت‌های بیضوی بیش‌تر از یک، تنش برشی کم‌ترین مقدار را داشته است.

Pilbala *et al.* (2023) پژوهشی را در خصوص کارکرد دریاچه سالونی بیضوی در شرایط جریان مستغرق آغاز نمودند و به بررسی مقادیر اتلاف انرژی، ضریب دبی و گردابه را در دبی‌ها و بازشدگی‌های مختلف پرداختند. گردابه‌های متقارن و یا نامتقارن ثابت در پایین‌دست دریاچه سالونی مشاهده شد.

با توجه به پژوهش‌های پیشین، تا به امروز تمامی مطالعات مربوط به دریاچه‌های سالونی، در حالت تک‌دریاچه انجام شده است. با توجه به سهولت بهره‌برداری از دریاچه‌های کوچک‌تر نسبت به دریاچه بزرگ، لذا در این پژوهش تأثیر دو دریاچه کوچک‌تر به‌جای تک‌دریاچه، بر خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند، منحنی دبی اشل، سرعت حداکثر، انرژی متلاطم حداکثری و گردابه‌ها، با هدف افزایش عملکرد و صرفه‌جویی در هزینه طراحی و ساخت سازه، مورد بررسی قرار گرفت.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. معرفی مدل Flow3D

در این پژوهش به‌منظور مدل‌سازی و بررسی تأثیر دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه در شرایط جریان مستغرق، از نرم‌افزار Flow3D که یک مدل بسیار قوی در زمینه CFD می‌باشد استفاده شده است. در این نرم‌افزار از دو تکنیک عددی برای مدل‌سازی استفاده خواهد شد. روش حجم سیال (VOF) که از طریق سعی و خطا و تحلیل هم‌زمان معادلات ناویر-استوکس جریان متلاطم با انواع روش‌های CFD به محاسبه پارامترهای نظیر سرعت و فشار می‌پردازد و روش کسر مساحت-حجم مانع (FAVOR) که در شبیه‌سازی سطوح و اجسام صلب نظیر مرزهای هندسی کاربرد دارد، استفاده می‌شود (Mobarak *et al.*, 2021).

### ۲.۲. مدل‌های آشفتگی

در نسخه جدید نرم‌افزار Flow3D مدل‌های آشفتگی شامل مدل‌های صفر معادله‌ای (طول اختلاط پراتل)، مدل یک معادله‌ای، مدل دو معادله‌ای (K-ε)، مدل دارای معادله تنش (RNG) و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) می‌باشند که معروف‌ترین آن‌ها در بحث سازه‌های هیدرولیکی معادله‌های LES، K-ε و RNG می‌باشد.

### ۲.۳. مشخصات مدل

در این مطالعه به‌منظور انتخاب یک مش‌بندی مطلوب برای مدل‌سازی، انتخاب مدل آشفتگی و کالیبراسیون برای مقایسه مدل عددی با آزمایشگاهی از مقایسه نتیجه اطلاعات مدل فیزیکی که در دانشگاه شهید چمران اهواز دانشکده مهندسی علوم آب توسط Pilbala *et al.* (2021) به‌دست آمده است، استفاده شده است. برای این مقایسه از عمق آب بالادست دریاچه استفاده شده است. در آزمایش‌های ایشان از فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض و ارتفاع ۰/۸ متر استفاده شده است. جداره فلوم از جنس شیشه و کف آن از ورق فلزی ساخته شده است. در انتهای فلوم یک دریاچه

کشویی به‌منظور ایجاد استغراق‌های ۸۰،۷۰ و ۹۰ درصد نصب گردیده است. دریچه‌های سالونی مستطیلی از دو لنگه دریچه مستطیلی که از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت دو میلی‌متر، به طول ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر است تهیه و در محل موردنظر نصب شده است. این آزمایش در سه دبی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه، سه میزان استغراق ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد و سه زاویه بازشدگی ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه انجام شده است. در شکل (۱) تصاویر مربوط به دریچه سالونی مستطیلی مورد استفاده در آزمایشگاه نشان داده شده است (Pilbala et al., 2021).

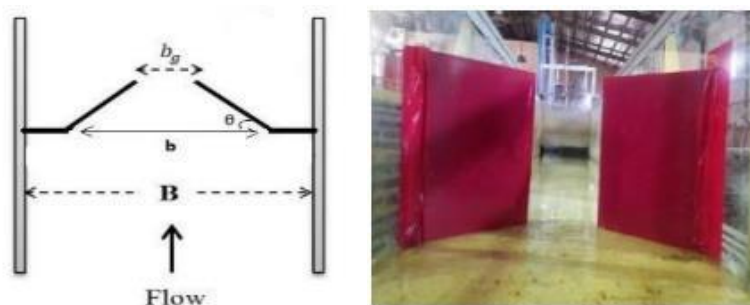


Figure 1. General view of the rectangular lopac gate used in the laboratory

در این شبیه‌سازی از یک بلوک مش‌بندی استفاده شده است که شرایط مرزی اعلام‌شده در نرم‌افزار به این صورت است که در بالادست جریان در قسمت ورودی آب به فلوم، شرایط مرزی volume flow rate اعمال شده است و مقادیر دبی و ارتفاع آب با توجه به داده‌های آزمایشگاهی وارد شد. سپس در قسمت انتهایی فلوم در قسمت خروجی آب شرط مرزی Specified pressure اعمال شد و ارتفاع آب پایین‌دست با توجه به داده‌های آزمایشگاهی وارد شد. دیواره‌های جانبی و کف بلوک مش‌بندی به‌صورت Wall (دیوار) اعمال شد و قسمت بالای بلوک مش‌بندی به‌علت وجود هوا به‌صورت شرط مرزی متقارن symmetry در نظر گرفته شد. نخستین گام در مدل‌سازی عددی انتخاب یک مش‌بندی مطلوب برای انجام شبیه‌سازی است. شبکه مش‌بندی باید به‌گونه‌ای باشد که کم‌ترین خطای محاسباتی را دارا باشد. بدین‌جهت از یک شبیه‌سازی از آزمایش‌های Pilbala et al. (2021) با ابعاد متفاوت سلول مش‌بندی استفاده شده و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به بررسی خطای عمق آب در شکل (۲) پس از ارزیابی مش‌بندی‌های متفاوت برای تمام شبیه‌سازی‌ها تعداد ۸۰۰۰۰۰ سلول مش در نظر گرفته شد و هم‌چنین مدت‌زمان مدل‌سازی با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای رسیدن جریان به پایداری ۴۰ ثانیه انتخاب شده است.

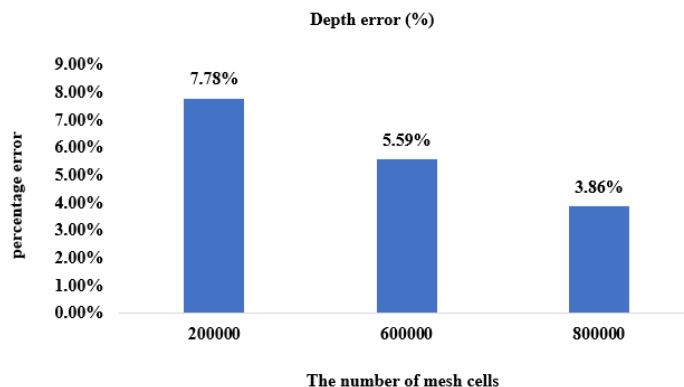


Figure 2. Diagram of the results of the analysis of the number of mesh cells suitable for simulation

دومین گام در مدل‌سازی عددی انتخاب یک مدل آشفتگی مطلوب است که دارای نزدیک‌ترین جواب به مدل آزمایشگاهی باشد. به این منظور تعداد نه آزمایش از پژوهش *Pilbala et al.* (2021) با سه مدل آشفتگی K- $\epsilon$ ، LES و RNG و جمعاً ۲۷ شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول (۱) و با ارزیابی شبیه‌سازی‌های انجام شده و مقایسه مقادیر عمق آب بالادست  $y(\text{up})$  به دست آمده از مدل عددی و مقایسه آن با مدل آزمایشگاهی و انجام یک سری محاسبات مشخص شد که مدل عددی شبیه‌سازی شده حساسیت زیادی به مدل آشفتگی RNG ندارد و استفاده از مدل آشفتگی RNG خطای کمتری نسبت مدل‌های آشفتگی دیگر دارد. لازم به ذکر است که در جدول (۱)  $Q$  دبی عبوری از دریچه،  $S$  استغراق،  $\Theta$  زاویه بازشدگی دریچه،  $B$  عرض فلوم،  $bg$  میزان بازشدگی دریچه و  $y(\text{up})$  عمق آب در بالادست می‌باشد.

**Table 1.** Examining the results of turbulence models in numerical simulation compared to the laboratory model

Q	Specifications of the laboratory model					MAPE (%)		
	S (%)	$\Theta$	B	bg	$y(\text{up})$	RNG	K-e	K-W
25	70	35	0.8	0.144	0.225	19.47	27.07	31.11
	80	35	0.8	0.144	0.2532	12	21.76	19.43
	90	35	0.8	0.144	0.3103	6.28	12.61	11.76
35	70	35	0.8	0.144	0.2864	13.72	22.277	19.9
	80	35	0.8	0.144	0.3171	15.45	24.25	21.5
	90	35	0.8	0.144	0.3867	6.33	14.04	8.87
45	70	35	0.8	0.144	0.3278	14.15	23.4	20.26
	80	35	0.8	0.144	0.3676	17.19	19.56	22.63
	90	35	0.8	0.144	0.445	7.39	12.54	14.1573

سومین و مهم‌ترین گام در یک مدل‌سازی عددی کالیبره کردن مدل شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار با مدل آزمایشگاهی است. برای انجام کالیبره نه آزمایش متفاوت از پژوهش *Pilbala et al.* (2021) با تعداد مشخصی و مدل آشفتگی تعیین شده، شبیه‌سازی کرده و مورد ارزیابی و پژوهش قرار خواهد گرفت و با استفاده از ابزارهای محاسبه درصد خطا مشخص شد که پارامتر مورد بررسی شبیه‌سازی‌های انجام شده در نرم‌افزار Flow3D تفاوت چندانی نسبت به مقادیر مدل آزمایشگاهی نداشته است. نتایج کالیبراسیون و خطای نسبی بین مقادیر پروفیل سطح آب در مدل‌سازی عددی و مقایسه آن با مدل آزمایشگاهی در جدول (۲) آمده است.

**Table 2.** Final validation results of the numerical model compared to the laboratory model

Q	Specifications of the laboratory model					Confusion model	Measurement error			
	S (%)	$\Theta$	B	bg	$y(\text{up})$		MAPE (%)	RMSE	MSE (%)	RE (%)
25	70	45	0.8	0.23	0.1735	RNG	7.0037	0.01686	0.00028	±12
	80	45	0.8	0.23	0.187	RNG				
	90	45	0.8	0.23	0.235	RNG				
35	70	45	0.8	0.23	0.2125	RNG				
	80	45	0.8	0.23	0.229	RNG				
	90	45	0.8	0.23	0.2798	RNG				
45	70	45	0.8	0.23	0.2478	RNG				
	80	45	0.8	0.23	0.2694	RNG				
	90	45	0.8	0.23	0.3238	RNG				

## ۴.۲. شبیه‌سازی عددی

پس از انتخاب تعداد سلول مشخصی و انتخاب مدل آشفتگی و کالیبره کردن مدل عددی با مدل آزمایشگاهی در این پژوهش به بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان در زمان استفاده از دو دریچه سالونی مستطیلی به صورت هم‌زمان و با عرض کوچک‌تر و مقایسه آن در حالت تک‌دریچه پرداخته شده است. مدل مورد مطالعه از دو دریچه سالونی مستطیلی به عرض صفحات ۰/۲ متر و ارتفاع ۰/۸ متر تشکیل شده است که در سه زاویه بازشدگی ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه، سه دبی ۲۵،

۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه و سه میزان استغراق ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد و در مجموع ۲۷ شبیه‌سازی انجام شده است. همچنین ۲۷ مدل تک‌دریچه با عرض ۰/۴ متر ارتفاع ۰/۸ متر و با شرایط هیدرولیکی و تنظیمات نرم‌افزاری یکسان نسبت به مدل دو دریچه مدل‌سازی و فراخوانی شده است. در شکل (۳) مدل شبیه‌سازی شده دریچه سالونی در دو حالت تک‌دریچه و دو دریچه نمایش داده شده است. پس از اتمام شبیه‌سازی، به بررسی پارامترهای هیدرولیکی جریان مانند (پروفیل طولی جریان، بیشینه سرعت، بیشینه انرژی متلاطم و گردابه‌ها) در حالت دو دریچه و مقایسه آن با حالت تک‌دریچه پرداخته شده است.

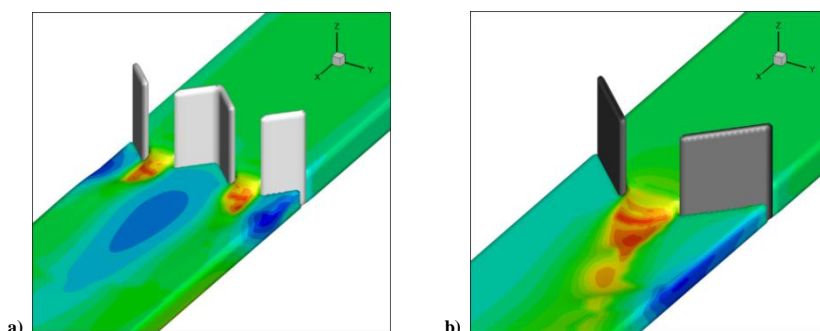


Figure 3. Simulated model of lopac gate in state a) single gate b) Multiple gate

### ۳. بحث و نتایج

در این قسمت کاربرد دو دریچه سالونی در عرض کانال را در مقایسه با یک دریچه بزرگ‌تر در شرایط یکسان شامل دبی جریان، زاویه بازشدگی و استغراق را بر خصوصیات هیدرولیکی جریان شامل بیشینه سرعت، بیشینه انرژی متلاطم و گردابه بررسی خواهد شد.

#### ۳.۱. بررسی منحنی دبی اشل

با توجه به شکل (۴) که منحنی دبی اشل در سه استغراق مختلف و یک زاویه ثابت ۴۵ درجه است مشاهده می‌شود که ضریب آبگذری در حالت دو دریچه در تمام استغراق‌ها نسبت به تک‌دریچه بیش‌تر می‌باشد. همچنین در یک عمق ثابت دبی بیش‌تری از دو دریچه عبور می‌کند که دلیل آن کاهش وسعت گردابه‌های اطراف دو دریچه نسبت به تک‌دریچه می‌باشد. این روند در زاویه‌های بازشدگی‌های ۳۵ و ۴۰ درجه نیز مشابه است.

#### ۳.۲. بررسی تغییرات پروفیل طولی جریان

با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که ارتفاع سطح آب با میزان درصد استغراق و دبی رابطه مستقیم و با میزان زاویه بازشدگی رابطه معکوس دارد، به گونه‌ای که هرچه میزان درصد استغراق و دبی افزایش یابد میزان ارتفاع سطح آب در این سازه هیدرولیکی افزایش می‌یابد و هرچه میزان زاویه بازشدگی بیش‌تر شود، ارتفاع سطح آب کاهش می‌یابد.

همچنین قابل مشاهده است به دلیل این که در حالت دو دریچه بیشینه سرعت کم‌تر و گردابه‌های جریان نسبت به حالت تک‌دریچه کوچک‌تر هستند پایداری سطح آب سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

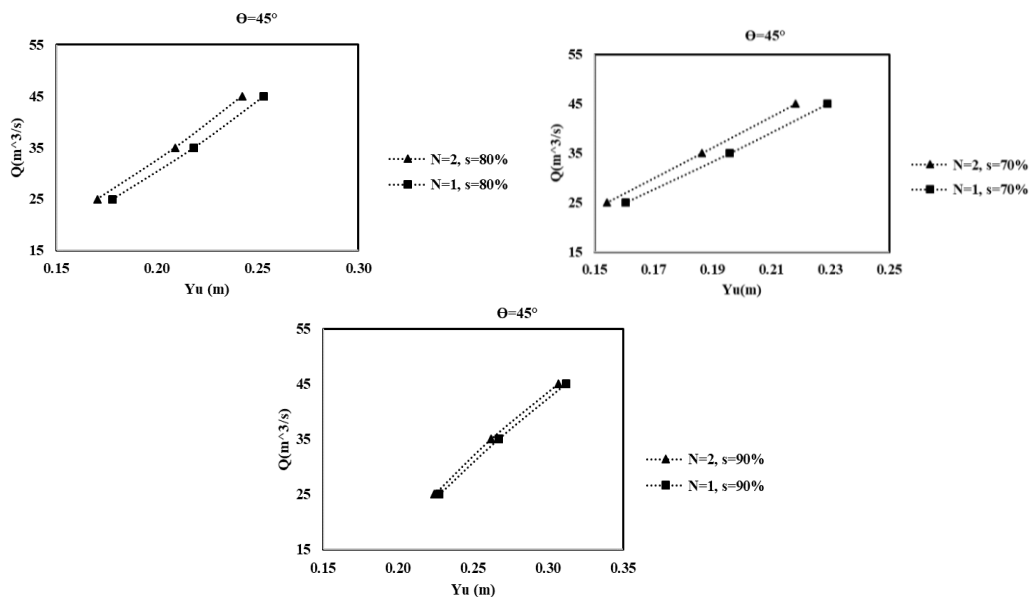


Figure 4. Examining Eschel's flow rate curve in single gate and multiple gate modes

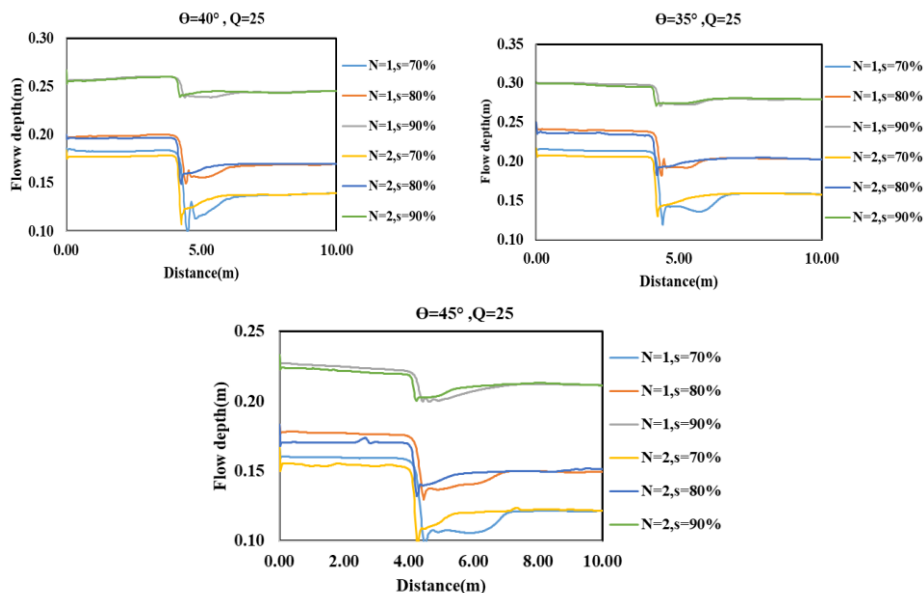


Figure 5. Comparison of the longitudinal profile of the flow in single gate and multiple gate modes

### ۳.۳. بررسی بیشینه سرعت

با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که بیشینه سرعت در هر دو حالت تک‌دریچه و دو دریچه با میزان دبی رابطه مستقیم داشته و با استغراق رابطه معکوس دارد به‌گونه‌ای که با افزایش دبی، بیشینه سرعت افزایش یافته و با افزایش درصد استغراق، مقادیر بیشینه سرعت کاهش می‌یابد و این روند در تمامی بازشدگی‌ها تکرار می‌شود. هم‌چنین مشاهده می‌شود در زمان استفاده از دو دریچه هدایت جریان در یک وسعت بهتر انجام می‌شود و با توجه به کاهش حجم گردابه‌ها، جریان اصلی در محدوده سرعت بیش‌تری بوده در نتیجه سرعت ماکس ۷/۸۷ درصد



نسبت به زمانی که از تک‌دریچه استفاده می‌شود کاهش یافته است که بیش‌ترین میزان این کاهش ۱۴/۲۵ درصد بوده است که در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۴۵ درجه و استغراق ۹۰ درصد رخ داده است و هم‌چنین کم‌ترین میزان این کاهش ۳/۸۳ درصد بوده که در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۵ درجه و استغراق ۸۰ درصد رخ داده است.

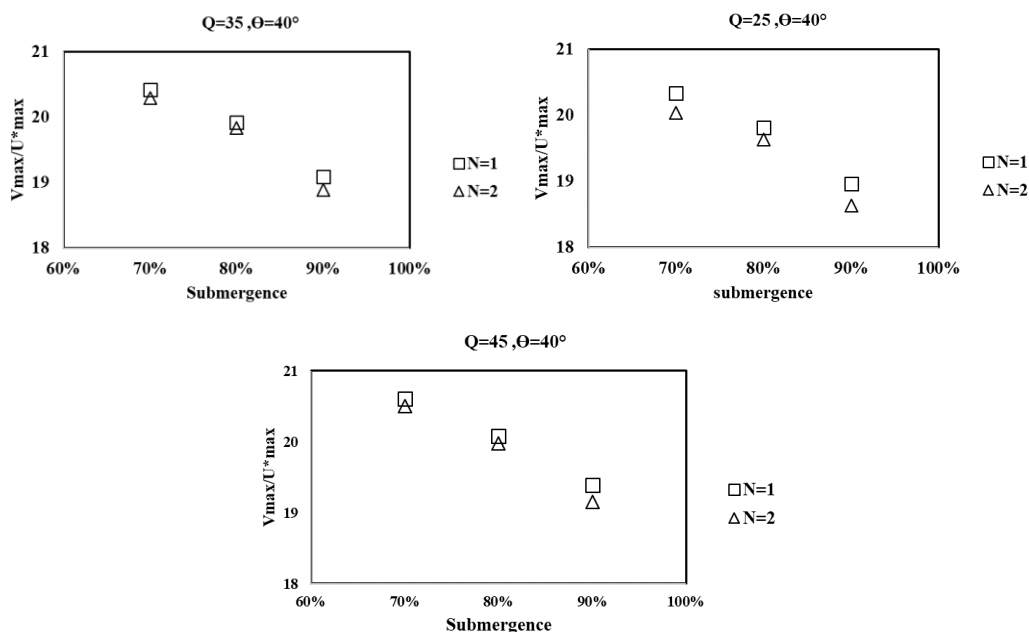


Figure 6. Investigation of maximum velocity in different submergences in single gate and multiple gate modes

### ۴.۳. بررسی بیشینه تلاطم

با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌شود که بیشینه انرژی متلاطم در هر دو حالت تک‌دریچه و دو دریچه با دبی رابطه مستقیم داشته و با میزان استغراق رابطه معکوس دارد به‌گونه‌ای که با افزایش دبی، بیشینه انرژی متلاطم افزایش یافته و با افزایش درصد استغراق، مقادیر بیشینه انرژی متلاطم کاهش خواهد یافت که این موارد در تمامی دبی‌ها و بازشدگی‌ها صدق می‌کند. علاوه بر این بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشینه انرژی متلاطم در زمان استفاده از دو دریچه ۱۳ درصد نسبت به زمان استفاده از تک‌دریچه کاهش یافته که بیش‌ترین میزان این کاهش ۲۳/۴ درصد بوده است که در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۴۵ درجه و استغراق ۹۰ درصد رخ داده است. هم‌چنین کم‌ترین میزان این کاهش ۴/۶۹ درصد بوده که در دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۵ درجه و استغراق ۹۰ درصد رخ داده است.

### ۵.۳. بررسی گردابه‌های جریان

در این مطالعه گردابه‌های جریان در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی ۳۵ درجه و سه استغراق ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد توسط نرم‌افزار Tecplot رسم شده و به مقایسه و بررسی آن در دو حالت تک‌دریچه و دو دریچه پرداخته شده است.

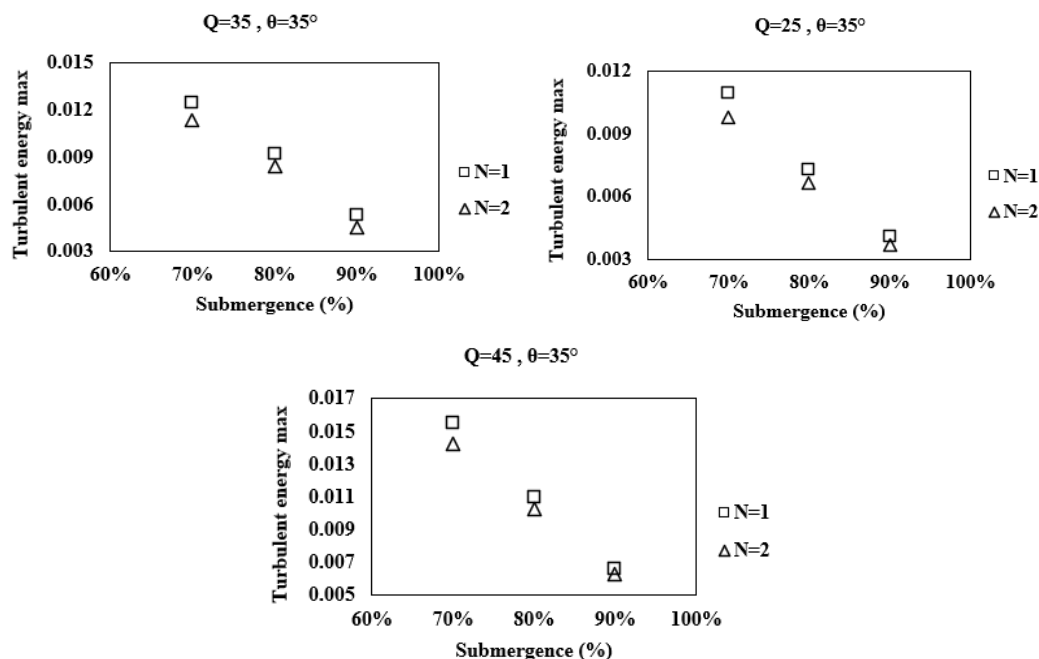
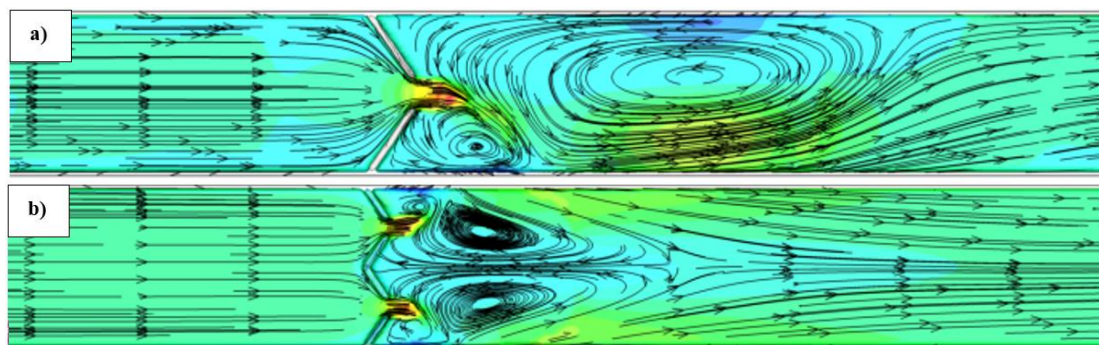
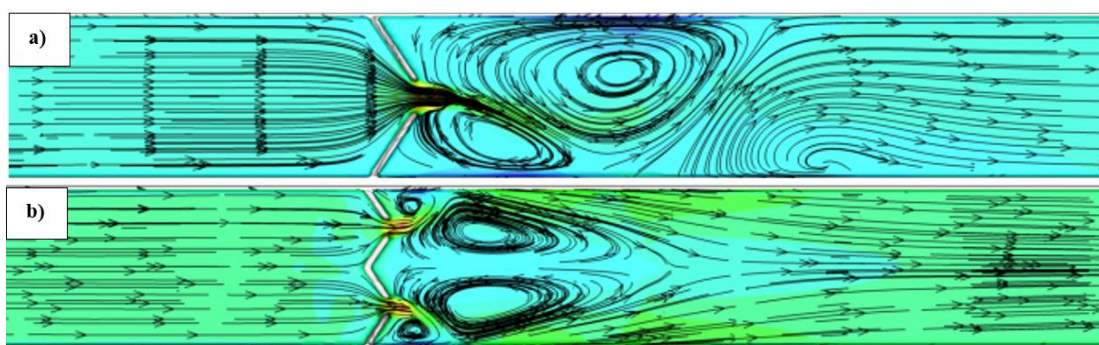


Figure 7. Investigation of maximum Turbulent energy in different submergences in single gate and multiple gate modes

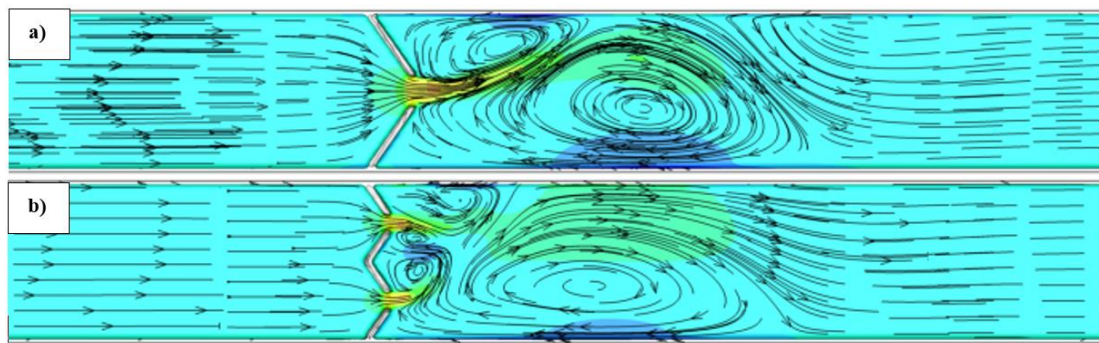
همان طور که در شکل‌های (۸) تا (۱۰) مشاهده می‌شود رنگ‌بندی قرمز، نارنجی، سبز، زرد و آبی نشان‌دهنده توزیع میدان سرعت در بخش‌های مختلف کانال است که در حالت تک‌دریچه میدان سرعت به سمت یک دیواره منحرف شده و در خلاف جهت آن گردابه‌ای بزرگ تشکیل شده است و در حالت دو دریچه میدان سرعت به سمت دو دیواره منحرف شده است و گردابه‌های اطراف دریچه کوچک‌تر شده است و گردابه‌های بزرگ‌تر در محل میانی دو دریچه به وجود می‌آید. این روند در تمامی دبی‌ها و بازشدگی‌ها تکرار می‌شود. با بررسی‌های انجام‌شده و با توجه به شکل‌های (۸) تا (۱۰) نتایج نشان می‌دهد، در زمانی که از تک‌دریچه استفاده شده است گردابه‌های وسیع و پر قدرت با اندازه‌های بزرگ ایجاد شده است که به سمت اطراف کانال منحرف شده و کشیدگی آن‌ها تا پایین دست دریچه ادامه دارد. از سوی دیگر، بررسی‌ها نشان می‌دهد در زمان استفاده از دو دریچه به جای تک‌دریچه در شرایط یکسان، گردابه‌هایی تشکیل می‌شود که قدرت، اندازه و کشیدگی آن‌ها در مقایسه با حالت تک‌دریچه کاهش یافته و علاوه بر آن تعداد گردابه‌ها افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود گردابه‌های جریان با استغراق رابطه معکوس دارند، به این صورت که با افزایش میزان استغراق، کشیدگی و قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد. تمامی این موارد در دبی‌ها، بازشدگی‌ها و استغراق‌های دیگر صدق می‌کند. همچنین با توجه به شکل (۱۰) قابل مشاهده است که در جریان با استغراق ۹۰ درصد جهت انحراف آب و میدان سرعت و در نتیجه جهت تشکیل گردابه در حالت تک‌دریچه با میزان استغراق‌های ۷۰ و ۸۰ درصد رابطه‌ای معکوس دارد. علاوه بر آن در جریان با استغراق ۹۰ درصد در حالت دو دریچه هر دو میدان سرعت به سمت یک دیواره منحرف می‌شوند و در نتیجه گردابه‌های قسمت میانی دریچه کوچک‌تر می‌باشد و این روند در تمامی دبی‌ها و بازشدگی‌های دیگر نیز تکرار می‌شود. در هنگام استفاده از تک‌دریچه به دلیل این که گردابه‌های خیلی بزرگ‌تری نسبت به حالت دو دریچه ایجاد می‌شود، در نتیجه باعث رسوب‌گذاری‌های بزرگ تشکیل مناطق نيزار و علفزار می‌شود و به مرور ضریب دبی کاهش پیدا می‌کند. در هنگام استفاده از دو دریچه الگوی جریان بهتر می‌شود و در نتیجه مناطق رسوب‌گذاری کوچک‌تر شده و مشکلات بهره‌برداری کم‌تر می‌شود.



**Figure 8.** Streamlines at a flow rate of 25 lit/s, opening of 35 degrees and submergence of 70 Percent in two cases a) single gate b) Multiple gate



**Figure 9.** Streamlines at a flow rate of 25 lit/s, opening of 35 degrees and submergence of 80 Percent in two cases a) single gate b) Multiple gate



**Figure 10.** Streamlines at a flow rate of 25 lit/s, opening of 35 degrees and submergence of 90 Percent in two cases a) single gate b) Multiple gate

#### ۴. نتیجه‌گیری

در این بخش به بررسی هیدرولیکی دریچه‌های سالونی چندگانه مستطیلی در شرایط مستغرق و مقایسه آن با حالت تک‌دریچه و بررسی پارامترهایی نظیر منحنی دبی اشل، سرعت بیشینه، بیشینه انرژی متلاطم و گردابه‌ها در دبی‌های ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه، بازشدگی‌های ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه و در استغراق‌های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد پرداخته شد. نتایج حاصل از بررسی نمودار دبی اشل نشان داد که ضریب آگذری در حالت دو دریچه در تمام استغراق‌ها نسبت به تک‌دریچه بیش‌تر می‌باشد. هم‌چنین در یک عمق ثابت دبی بیش‌تری از دو دریچه عبور می‌کند که دلیل آن کاهش وسعت گردابه‌های اطراف دو دریچه نسبت به تک‌دریچه می‌باشد.

نتایج حاصل از مقایسه پروفیل طولی جریان در حالت تک‌دریچه و دو دریچه نشان داد به دلیل این که در حالت دو دریچه بیشینه سرعت کم‌تر و گردابه‌های جریان نسبت به حالت تک‌دریچه کوچک‌تر هستند پایداری سطح آب سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

نتایج حاصل نشان داد که بیشینه سرعت با دبی رابطه مستقیم داشته و با میزان استغراق رابطه معکوس دارد، به نحوی که با افزایش دبی، بیشینه سرعت نیز افزایش یافته و با افزایش درصد استغراق، بیشینه سرعت کاهش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که بیش‌ترین میزان کاهش سرعت بیشینه ۱۴/۲۵ درصد بوده است کم‌ترین میزان این کاهش ۳/۸۳ درصد بوده که در است.

در بخش تحلیل بیشینه انرژی متلاطم مشاهده شد که این پارامتر با دبی رابطه مستقیم داشته و با درصد استغراق رابطه معکوس دارند، به گونه‌ای که با افزایش دبی، بیشینه انرژی متلاطم افزایش یافته و با افزایش درصد استغراق، بیشینه انرژی متلاطم کاهش می‌یابد. همچنین نتایج و بررسی‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان کاهش انرژی متلاطم بیشینه ۲۲/۴ درصد بوده و کم‌ترین میزان کاهش این پارامتر ۴/۶۹ درصد بوده است.

نتایج نشان می‌دهد در زمان استفاده از تک‌دریچه شده گردابه‌های وسیع و پر قدرت با اندازه‌های بزرگ ایجاد شده است که به سمت اطراف کانال منحرف می‌شود. همچنین در زمان استفاده از دو دریچه، گردابه‌هایی تشکیل می‌شود که قدرت، اندازه و کشیدگی آن‌ها در مقایسه با حالت تک‌دریچه کاهش یافته و علاوه بر آن تعداد گردابه‌ها افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود گردابه‌های جریان با استغراق رابطه معکوس دارند، به این صورت که با افزایش میزان استغراق، کشیدگی و قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد.

در زمان به کارگیری تک‌دریچه به دلیل این که گردابه‌های خیلی بزرگ‌تری نسبت به حالت دو دریچه ایجاد می‌شود در نتیجه باعث رسوب‌گذاری‌های بزرگ، تشکیل مناطق نيزار و علفزار می‌شود و به مرور ضریب دبی کاهش پیدا می‌کند. اما زمان استفاده از دو دریچه الگوی جریان بهتر می‌شود و در نتیجه مناطق رسوب‌گذاری کوچک‌تر می‌شود.

## ۵. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافی توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۶. منابع

- Aqua Systems 2000 Incorporation. (AS21). (2013). Leaders in Water Management and Control. Retrieved from: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate>.
- Asadi, M., & Kochekezadeh, S. (2019), guide to water flow measurement. Tehran: *National Irrigation and Drainage Committee of Iran*.
- Babaei Faqih Mahaleh, R., Ismaili Varki, M., & 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), 727-717. (In Persian)
- Badiee, S., & Sajadi, M. (2018). Numerical analysis of the hydraulic conditions of the Lopac gate using Fluent Software. In: *Proceeding of International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development Management in Iran. TEHRAN, 9 December, University of Tehran*. (In Persian)
- Karami Moghadam, M., & Sabzevari, T. (2017). Effect of Vegetation on Shear Stress and Flow Velocity in Compound Channels Using Flow3D Model. *Journal of Hydraulics*, 12(3), 29-40. (In Persian)
- Langeman, P., Craig, K., Elser, P., & Allen, L. (2006). *Irrigation gate system*. US patent, 7, 114.
- Malaterre, P.O., Rogers, D.C., & Schuurmans, J. (1998). Classification of canal control algorithms. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 124(1), 3-10.

- Monem, M.J., & Naghayi, R. (2013). Introduction of lopac gate to regulate water level in irrigation canals and present its hydraulic relations in the 4th *National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks*, Shahid Chamran university of Ahvaz. (In Persian)
- Monem, M.J., & Sadeghi, S. (2014). Testing the use of Lopac Gate in irrigation networks and comparing them with conventional structures using the ICSS mathematical model, *Ministry of Science, Research and Technology, Tarbiat Modares University, College of Agriculture*. (In Persian)
- Mobarak, F., sajjadi, S. M., Ahadiyan, J., & Zeynivand, M. (2022). Numerical modeling of the effect of elliptical elongation on the hydraulic performance of an elliptical Lopac gate. *Water and Irrigation Management*, 12(2), 263-275. doi: 10.22059/jwim.2022.335817.952. (In Persian)
- Monem, M.J., & Naghayi, R. (2013). Introduction of lopac gate to regulate water level in irrigation canals and present its hydraulic relations. in: *Proceeding of 4th National Conference on Management of Irrigation and Drainage Networks*, Shahid Chamran university of Ahvaz. (In Persian)
- 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.
- 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.
- 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*, 1-16.
- Yousofvand, F., Monem, M.J., & Kavianpour, M.R. (2015). Experimental and Theoretical Analysis of Discharge Coefficient for Submerged Lopac Gate. *Irrigation and Drainage*, 9(5), 811-819. (In Persian)