

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

ستاره فتحی^۱، سیدمحسن سجادی*^۲، جواد احدیان^۳، عباس پارسائی^۴

۱- کارشناسی ارشدسازه های هیدرولیکی، گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. (setarefathi.98@scu.ac.ir)

۲- دانشیار، گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. (m.sadjadi@scu.ac.ir)

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

۴- استادیار، گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. (parsaie@scu.ac.ir)

چکیده

یکی از راه‌کارهای پیشنهادی در خصوص افزایش کیفیت توزیع و انتقال آب استفاده از دریچه‌های سالونی است. در این پژوهش از دریچه‌ی سالونی چندگانه مستطیلی استفاده شده است و با شبیه‌سازی عددی پارامترهای هیدرولیکی جریان بررسی و باحالت تک دریچه 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 دریچه از حالت تک دریچه بیشتر است. بررسی بیشینه‌ی سرعت نتایج نشان داد که این پارامتر با میزان استغراق رابطه‌ی عکس دارد به‌گونه‌ای که با افزایش استغراق، بیشینه سرعت کاهش پیدا می‌کند که این میزان کاهش در حالت دو دریچه ۷/۸۷ درصد نسبت به حالت تک دریچه هست. در بررسی بیشینه‌ی انرژی متلاطم نتایج نشان داد که انرژی متلاطم با دبی رابطه مستقیم داشته و با میزان استغراق رابطه‌ی معکوس دارد به‌طوری‌که با افزایش استغراق، انرژی متلاطم کاهش پیدا می‌کند که این میزان کاهش در حالت دو دریچه ۱۳ درصد نسبت به حالت تک دریچه خواهد بود. با بررسی کیفی گردابه‌های جریان نیز نتایج نشان داد که گردابه‌ها در حالت تک دریچه قدرت و کشیدگی بیشتری نسبت به حالت دو دریچه دارند. همچنین با بررسی نتایج مشخص شد که با افزایش درصد استغراق، کشیدگی و قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: بیشینه سرعت، بیشینه انرژی متلاطم، گردابه، Flow3D

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 پیشنهادشده در خصوص بالا بردن 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 بدنه‌ی کانال متصل می‌شود و با تغییر در میزان بازشدگی دریاچه‌ها، مقادیر سطح آب و دبی عبوری را کنترل می‌کند (Monem & Naghaei., 2013). دریاچه سالونی در سال 1980 توسط شخصی بنام 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 درجه‌ی 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 ناحیه‌ی انقباض بر روند سرعت تأثیرگذار است.

در یک ارزیابی (Monem and Sadeghi (2014) پژوهشی باهدف 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 مش بندی 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 تحقیق 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 پایین‌دست دریاچه سالونی مورد ارزیابی قرار دادند. اطلاعات حاصل شده نشانگر این بود که در پشت دریاچه پدیده‌ی آب مردگی شکل می‌گیرد و گردابه‌ها در این بخش با سرعت کم، محل رشد گیاهان و انباشت رسوبات هستند. همچنین تنش برشی در پایین‌دست دریاچه درست در کف کانال بیشترین اندازه‌ی 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 پایین‌دست 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 به همراه 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 رابطه‌ی معکوس دارند. نتایج حاصل از بررسی تنش برشی 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 دریاچه‌ی سالونی بیضوی در شرایط جریان مستغرق آغاز نمودند و به بررسی مقادیر اتلاف انرژی، ضریب دبی و گردابه‌ها 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 تک دریاچه انجام شده است. با توجه به سهولت بهره‌برداری از دریاچه‌های کوچک‌تر نسبت به دریاچه بزرگ، لذا در این پژوهش تأثیر دو دریاچه کوچک‌تر به جای تک دریاچه، بر خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند، منحنی دبی اشل، سرعت حداکثر، انرژی متلاطم حداکثری و گردابه‌ها، باهدف افزایش عملکرد و صرفه‌جویی در هزینه‌ی طراحی و ساخت سازه، مورد بررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها:

۲-۱- معرفی مدل Flow3D :

در این پژوهش به منظور مدل‌سازی و بررسی تأثیر دریاچه سالونی مستطیلی چندگانه در شرایط جریان مستغرق، از نرم‌افزار Flow3D که یک مدل بسیار قوی در زمینه‌ی 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 محاسبه‌ی 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 نسخه‌ی جدید نرم‌افزار Flow3D مدل‌های آشفتگی شامل مدل‌های صفر معادله‌ای (طول اختلاط پراپرتی)، 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 به منظور انتخاب یک مش بندی مطلوب برای مدل‌سازی، انتخاب مدل آشفتگی و کالیبراسیون برای مقایسه‌ی مدل عددی با آزمایشگاهی از مقایسه‌ی نتیجه‌ی اطلاعات مدل فیزیکی که در دانشگاه شهید چمران اهواز دانشکده‌ی مهندسی علوم آب توسط Pilbala et al. (2021) به دست آمده است استفاده شده است. برای این مقایسه از عمق آب بالادست دریچه استفاده شده است. در آزمایش‌های ایشان از فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر، عرض و ارتفاع ۰/۸ متر استفاده شده است. جداری فلوم از جنس شیشه و کف آن از ورق فلزی ساخته شده است. در انتهای فلوم یک دریچه کشویی به منظور ایجاد استغراق‌های ۷۰، ۸۰، 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 مورد نظر 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 شماره (۱) تصاویر مربوط به دریچه سالونی مستطیلی مورد استفاده در آزمایشگاه نشان داده شده است. (Pilbala et al., 2021)

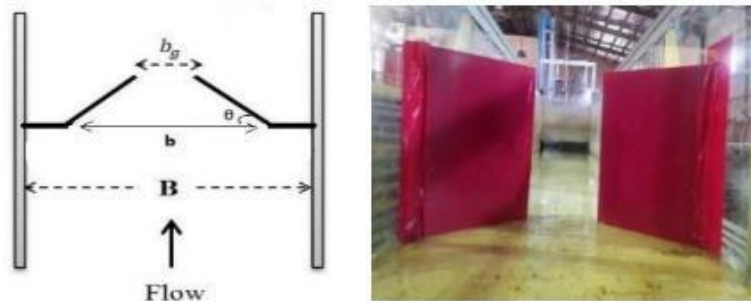


Figure 1. General view of the rectangular lopac gate used in the laboratory

در این شبیه‌سازی از یک بلوک مش بندی استفاده شده است که شرایط مرزی اعلام شده 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 انتهای فلوم در قسمت خروجی آب شرط مرزی Specified pressure اعمال شد و ارتفاع آب پایین دست با توجه به داده‌های آزمایشگاهی وارد شد. دیواره‌های جانبی و کف بلوک مش بندی به صورت Wall (دیوار) اعمال شد و قسمت بالای بلوک مش بندی به علت وجود هوا به صورت شرط مرزی متقارن symmetry در نظر گرفته شد. نخستین گام در مدل‌سازی عددی انتخاب یک مش بندی مطلوب برای انجام شبیه‌سازی است. شبکه‌ی مش بندی باید به گونه‌ای

باشد که کمترین خطای محاسباتی را دارا باشد. بدین جهت از یک شبیه‌سازی از آزمایش‌های (Pilbala et al.(2021) با ابعاد متفاوت سلول مش بندی استفاده شده و نتایج حاصل از آن مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به بررسی خطای عمق آب در شکل شماره (۲) پس از ارزیابی مش بندی‌های متفاوت برای تمام شبیه‌سازی‌ها تعداد ۸۰۰۰۰۰ سلول مش در نظر گرفته شد و همچنین مدت زمان مدل‌سازی با در نظر گرفتن زمان مورد نیاز برای رسیدن جریان به پایداری ۴۰ ثانیه انتخاب شده است.

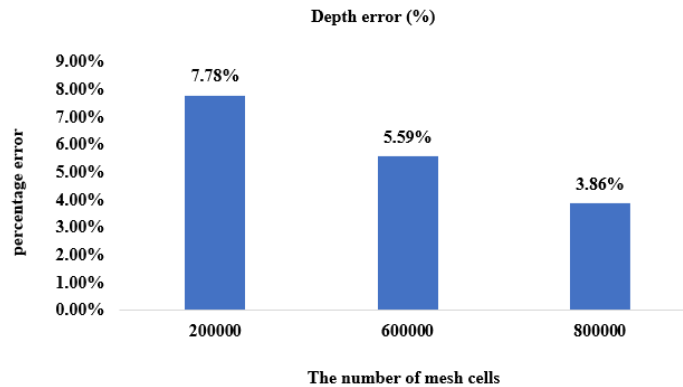


Figure 2. Diagram of the results of the analysis of the number of mesh cells suitable for simulation

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 LES, K-ε, و RNG و جمعاً ۲۷ شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به جدول شماره (۱) و با ارزیابی شبیه‌سازی‌های انجام شده و مقایسه‌ی مقادیر عمق آب بالادست $y(up)$ به دست آمده از مدل عددی و مقایسه‌ی 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 به مدل‌های آشفتگی دیگر دارد. لازم به ذکر است که در جدول (۱) Q دبی عبوری از دریچه، S استغراق، θ زاویه‌ی بازشدگی دریچه، B عرض فلوم، bg میزان بازشدگی دریچه و $y(up)$ عمق آب در بالادست می‌باشد.

Specifications of the laboratory model						MAPE (%)		
Q	S (%)	θ	B	bg	y (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

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

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 مش بندی و مدل آشفتگی تعیین شده، شبیه‌سازی کرده و مورد ارزیابی و پژوهش قرار خواهد گرفت و با استفاده از ابزارهای محاسبه‌ی 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 مقایسه‌ی آن با مدل آزمایشگاهی در جدول شماره (۲) آمده است.

Specifications of the laboratory model							measurement error			
Q	S(%)	θ	B	bg	y (up)	Confusion model	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				

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

۲-۴- شبیه‌سازی عددی:

پس از انتخاب تعداد سلول مش بندی 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 مقایسه‌ی آن در حالت تک دریچه پرداخته شده است. مدل مورد مطالعه از دو دریچه سالونی مستطیلی به عرض صفحات 0.2 متر و ارتفاع 0.8 متر تشکیل شده است که در سه زاویه‌ی بازشدگی 35 ، 40 و 45 درجه، سه دبی 25 ، 35 و 45 لیتر بر ثانیه و سه میزان استغراق 70 ، 80 و 90 درصد و در مجموع 27 شبیه‌سازی انجام شده است. همچنین 27 مدل تک دریچه با عرض 0.4 متر ارتفاع 0.8 متر و با شرایط هیدرولیکی و تنظیمات نرم‌افزاری یکسان نسبت به مدل دو دریچه مدل‌سازی و فراخوانی شده است. در شکل شماره (۳) مدل شبیه‌سازی شده دریچه‌ی سالونی در دو حالت تک دریچه 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 مقایسه‌ی آن با حالت تک دریچه پرداخته شده است.

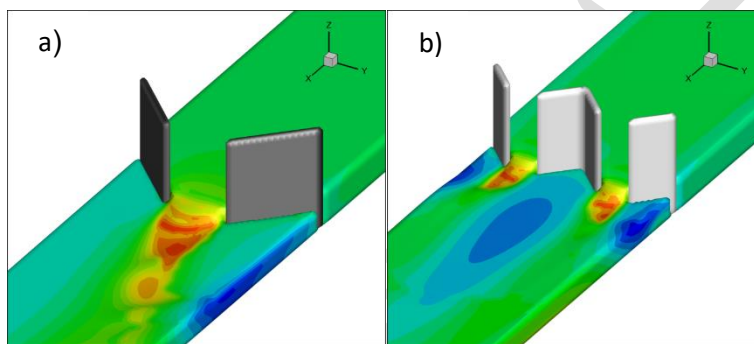


Figure 3. Simulated model of lopac gate in state a) single gate b) Multiple gate

۳-۳- 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 زاویه‌ی ثابت 45 درجه است مشاهده می‌شود که ضریب آبگذری در حالت دو دریچه در تمام استغراق‌ها نسبت به تک دریچه 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 تک دریچه می‌باشد. این روند در زاویه‌های بازشدگی‌های 35 و 40 درجه نیز مشابه است.

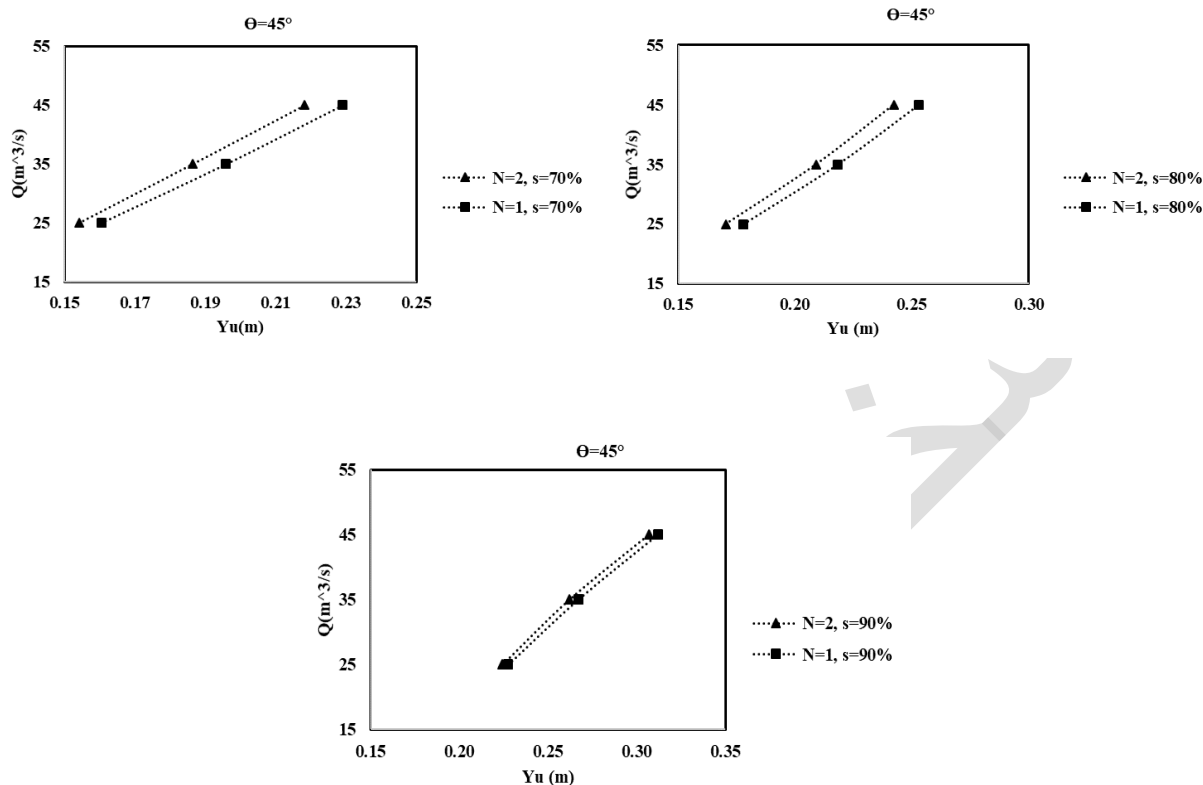


Figure 4. Examining Eschel's flow rate curve in single gate and multiple gate modes

۲-۳- بررسی تغییرات پروفیل طولی جریان

با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که ارتفاع سطح آب با میزان درصد استغراق و دبی رابطه‌ی مستقیم و با میزان زاویه‌ی بازشدگی رابطه‌ی 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 زاویه‌ی بازشدگی بیشتر شود، ارتفاع سطح آب کاهش می‌یابد.

همچنین قابل مشاهده است به دلیل اینکه در حالت دو دریچه بیشینه‌ی سرعت کمتر و گردابه‌های جریان نسبت به حالت تک دریچه کوچک‌تر هستند پایداری سطح آب سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

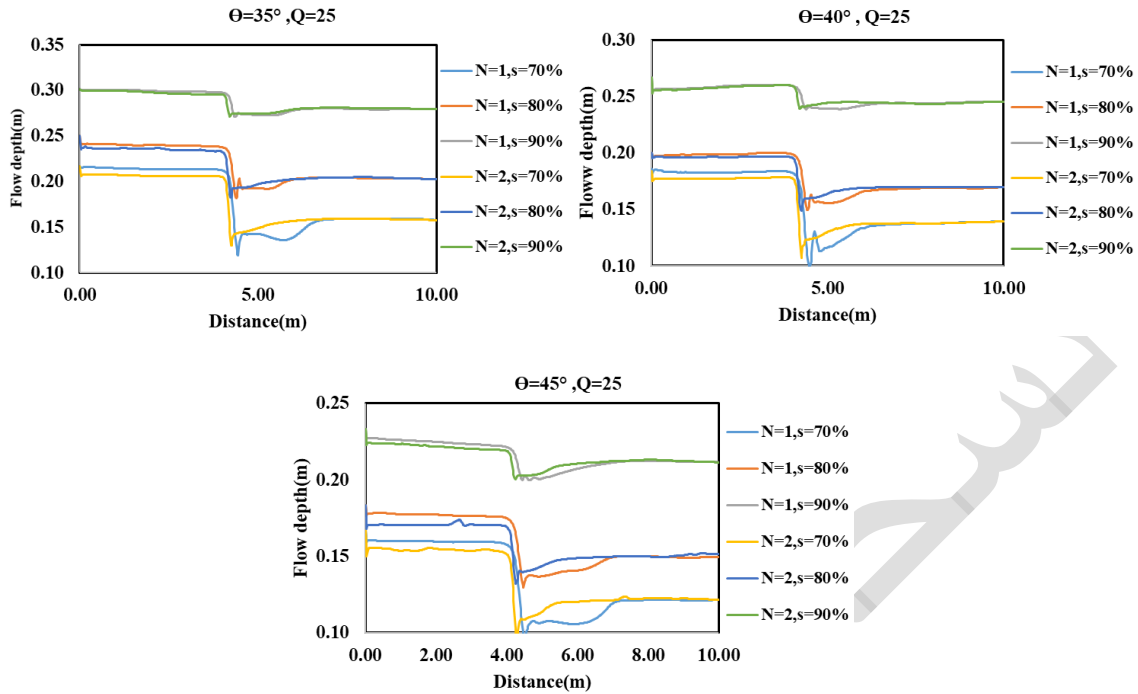
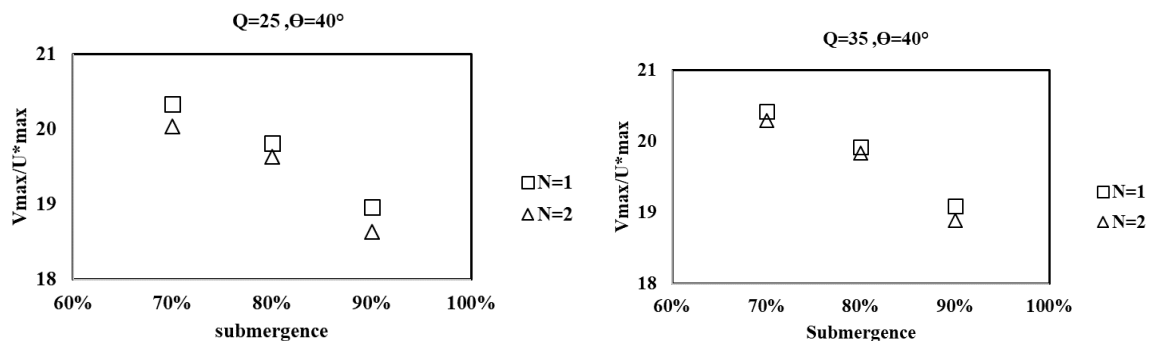


Figure 5. Comparison of the longitudinal profile of the flow in single gate and multiple gate modes

۳-۳- بررسی بیشینه‌ی سرعت :

با توجه به شکل (۶) مشاهده می‌شود که بیشینه‌ی سرعت در هر دو حالت تک دریچه و دو دریچه با میزان دبی رابطه‌ی مستقیم داشته و با استغراق رابطه‌ی معکوس دارد به‌گونه‌ای که با افزایش دبی، بیشینه‌ی سرعت افزایش یافته و با افزایش درصد استغراق، مقادیر بیشینه‌ی 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 محدوده‌ی سرعت بیشتری بوده در نتیجه سرعت ماکس $7/87$ درصد نسبت به زمانی که از تک دریچه استفاده می‌شود کاهش یافته است. که بیشترین میزان این کاهش $14/25$ درصد بوده است که در دبی 45 لیتر بر ثانیه، بازشدگی 45 درجه و استغراق 90 درصد رخ داده است و همچنین کمترین میزان این کاهش $3/83$ درصد بوده که در دبی 45 لیتر بر ثانیه، بازشدگی 35 درجه و استغراق 80 درصد رخ داده است.



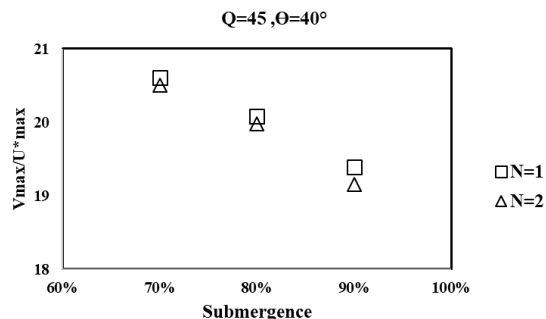


Figure 6. Investigation of maximum velocity in different submergences in single gate and multiple gate modes

۳-۴- بررسی بیشینهی تلاطم :

با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌شود که بیشینهی انرژی تلاطم در هر دو حالت تک دریچه و دو دریچه با دبی رابطه مستقیم داشته و با میزان استغراق رابطه‌ی معکوس دارد به گونه‌ای که با افزایش دبی، بیشینهی انرژی تلاطم افزایش یافته و با افزایش درصد استغراق، مقادیر بیشینهی انرژی تلاطم کاهش خواهد یافت که این موارد در تمامی دبی‌ها و بازشدگی‌ها صدق می‌کند. علاوه بر این بررسی‌ها نشان می‌دهد بیشینهی انرژی تلاطم در زمان استفاده از دو دریچه ۱۳ درصد نسبت به زمان استفاده از تک دریچه 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.

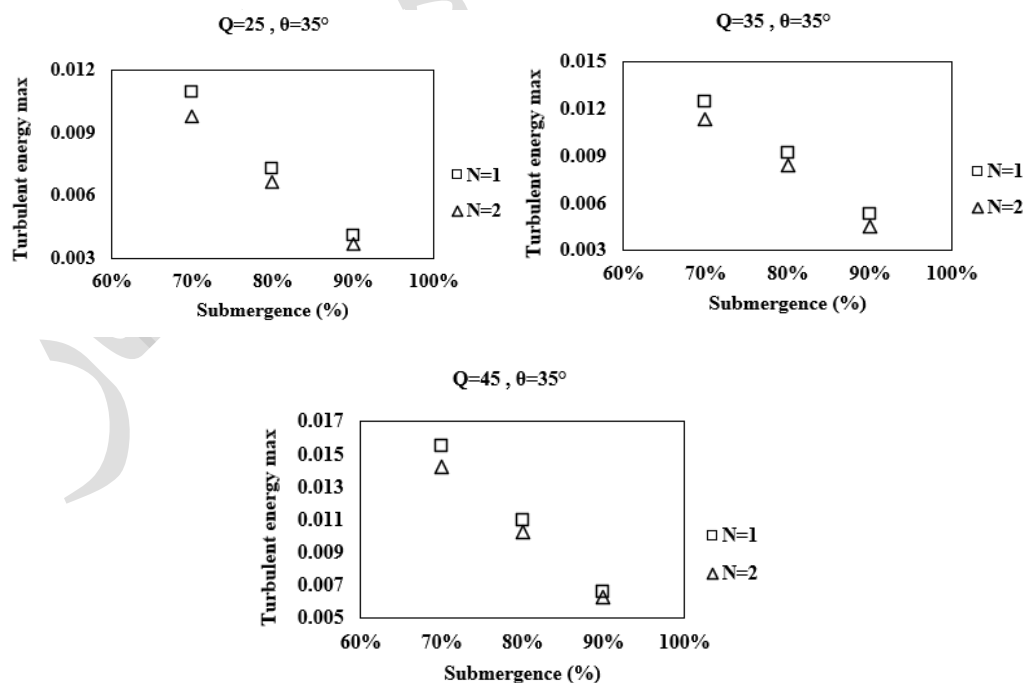


Figure 7. Investigation of maximum Turbulent energy in different submergences in single gate and multiple gate modes

۳-۵- 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 تک دریچه و دو دریچه پرداخته شده است. همان‌طور که در شکل‌های (۸ تا ۱۰) مشاهده می‌شود رنگ‌بندی قرمز، نارنجی، سبز، زرد و آبی نشان‌دهنده‌ی توزیع میدان سرعت در بخش‌های مختلف کانال است که در حالت تک دریچه 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 صورت گرفته و با توجه به شکل‌های (۸ تا ۱۰) نتایج نشان می‌دهد در زمانی که از تک دریچه 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 تک دریچه در شرایط یکسان، گردابه‌هایی تشکیل می‌شود که قدرت، اندازه و کشیدگی آن‌ها در مقایسه با حالت تک دریچه کاهش یافته و علاوه بر آن تعداد گردابه‌ها افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود گردابه‌های جریان با استغراق رابطه‌ی 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 تک دریچه 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 تک دریچه به دلیل اینکه 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.

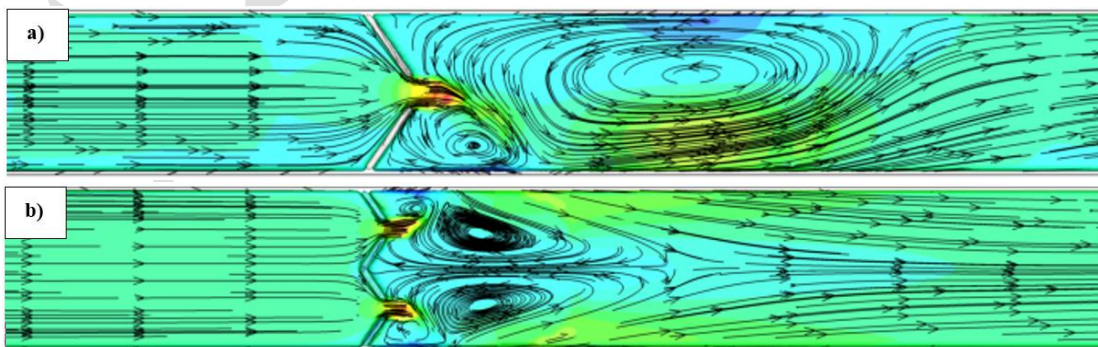


Figure 8. Streamlines at a flow rate of 25 lit/s, opening of 35 degrees and submergence of 70 Percent in two cases

a) single gate b) Multiple gate

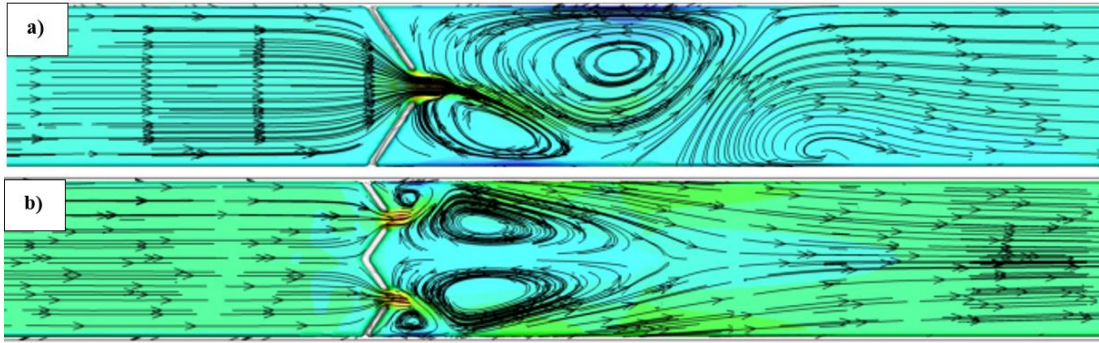


Figure 9. Streamlines at a flow rate of 25 lit/s, opening of 35 degrees and submergence of 80 Percent in two cases

a) single gate b) Multiple gate

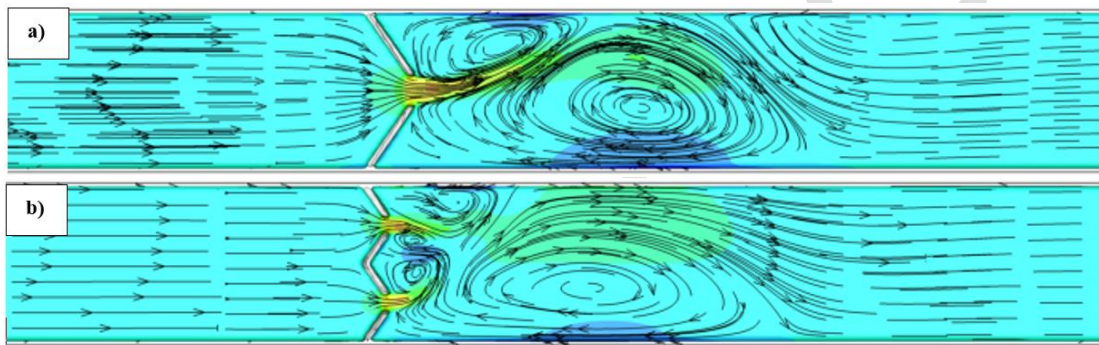


Figure 10. Streamlines at a flow rate of 25 lit/s, opening of 35 degrees and submergence of 90 Percent in two cases

a) single gate b) Multiple gate

۴- نتیجه گیری :

- ✓ در این بخش به بررسی هیدرولیکی دریچه‌های سالونی چندگانه مستطیلی در شرایط مستغرق و مقایسه‌ی آن باحالت تک دریچه 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 تک دریچه 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 تک دریچه می‌باشد.
- ✓ نتایج حاصل از مقایسه‌ی پروفیل طولی جریان در حالت تک دریچه و دو دریچه نشان داد که دلیل اینکه در حالت دو دریچه بیشینه‌ی سرعت کمتر و گردابه‌های جریان نسبت به حالت تک دریچه کوچک‌تر هستند پایداری سطح آب سریع‌تر اتفاق می‌افتد.

- ✓ نتایج حاصل نشان داد که بیشینه سرعت با دبی رابطه‌ی مستقیم داشته و با میزان استغراق رابطه‌ی 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 بیشینه‌ی انرژی متلاطم مشاهده شد که این پارامتر با دبی رابطه‌ی مستقیم داشته و با درصد استغراق رابطه‌ی معکوس دارند به گونه‌ای که با افزایش دبی، بیشینه‌ی انرژی متلاطم افزایش یافته و با افزایش درصد استغراق، بیشینه‌ی انرژی متلاطم کاهش می‌یابد. همچنین نتایج و بررسی‌ها نشان داد که بیشترین میزان کاهش انرژی متلاطم بیشینه ۲۳/۴ درصد بوده و کمترین میزان کاهش این پارامتر ۴/۶۹ درصد بوده است.
- ✓ نتایج نشان می‌دهد در زمان استفاده از تک دریچه 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 تک دریچه کاهش یافته و علاوه بر آن تعداد گردابه‌ها افزایش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود گردابه‌های جریان با استغراق رابطه‌ی معکوس دارند به این صورت که با افزایش میزان استغراق، کشیدگی و قدرت گردابه‌ها کاهش می‌یابد.
- ✓ در زمان به کارگیری تک دریچه به دلیل اینکه گردابه‌های خیلی بزرگ‌تری نسبت به حالت دو دریچه ایجاد می‌شود در نتیجه باعث رسوب گذاری‌های بزرگ، تشکیل مناطق نزار 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 رسوب گذاری کوچک تر می‌شود.

منابع :

- 1- Aqua Systems 2000 Incorporation (AS21). (2013). Leaders in Water Management and Control. Retrieved from: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate>.
- 2- Asadi, M., & Kochekezadeh, S. (2019), guide to water flow measurement. Tehran: *National Irrigation and Drainage Committee of Iran*.
- 3- 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), pp. 727-717. (In Persian)
- 4- 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)
- 5- 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)
- 6- Langeman, P., Craig, K., Elser, P., & Allen, L. (2006). *Irrigation gate system. US patent, 7, 114*.
- 7- Malaterre, P. O., Rogers, D. C., & Schuurmans, J. (1998). Classification of canal control algorithms. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 124(1), 3-10.

- 8- 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)
- 9- 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)
- 10- 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)
- 11- 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)
- 12- 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.
- 13- 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.
- 14- 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.
- 15- 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)

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

Author's names

S.Fathi¹, S.M.Sajjadi^{2*}, J.Ahadiyan³, A.Parsai⁴

Affiliation and Address

- 1- Master of Hydraulic Structures, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, IRAN. (setarefathi.98@gmail.com)
- 2- Associate Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz , IRAN.(m.sadjadi@scu.ac.ir)
- 3- Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, IRAN.(j.ahadiyan@scu.ac.ir)
- 4- Assistant Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, IRAN. (parsaie@scu.ac.ir)

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 4.8% 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.

Keywords: Flow3D, Maximum speed , Maximum turbulent energy , Vortex