Experimental Investigation of the Effect of Submergence and Entrance Transition on Stage-Discharge Relations for Lopac Gates

FATEMEH YOUSOFVAND¹, MOHAMMAD JAVAD MONEM^{2*}, MOHAMMAD REZA KAVIANPOUR³

1. Ph.D. Student, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran 2. Associate Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Agriculture, TarbiatModares University, Tehran,

Iran

3. Associate Professor, Department of Civil Engineering, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran (Received: Oct. 9, 2017- Revised: Feb. 3, 2018- Accepted: Feb. 18, 2018)

ABSTRACT

Lopac gates, controlling and regulating water level in irrigation canals, have recently been considered due to their practical advantages. So far, a few researches have been conducted on Lopac gate. In this study, the stage-discharge relationships of Lopac gate with different structures including no transition, sudden and gradual transition, in free and submerged condition were investigated. The experiments were performed to provide a wide range of effective non-dimensional parameters including gate angle and relative submergence. It was found that there is a relationship between the non-dimensional form of discharge $\begin{pmatrix} 0 \\ B \end{pmatrix}$ and the

ratio of upstream water depth to gate opening for free condition and between the Q^* and the submergence ratio for submerged conditions. In each of the above mentioned circumstances, using dimensional analysis and regression methods between the effective non-dimensional parameters, some explicit equations were presented for stage-discharge relationship of Lopac gates, with no transition, gradual and sudden transitions under free and submerged condition.

 $\sqrt{gb_g^3}$

Key Words: Gradual and sudden transition, Lopac gate, Stage-discharge relationship, Submerged and free flow condition.

* Corresponding Author's Email: monem_mj@modares.ac.ir

بررسی آزمایشگاهی تأثیر استغراق و تبدیل ورودی بر روابط دبی⊣شل دریچه سالونی

فاطمه يوسفوند'، محمدجواد منعم'*، محمدرضا كاويانپور"

دانشجوی دکتری، گروه سازههای آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 ۲. دانشیار، گروه سازههای آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
 ۳. دانشیار، گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجهنصیرالدین طوسی، تهران، ایران
 (تاریخ دریافت: ۱۷/ ۷/ ۱۳۹۶ – تاریخ بازنگری: ۱۴/ ۱۱/ ۱۳۹۶ – تاریخ تصویب: ۲۹/ ۱۱/ ۱۳۹۹)

چکیدہ

دریچههای سالونی، سازههای کنترل و تنظیم آب در کانالها میباشند که به دلیل مزایای کاربردی اخیراً مورد توجه قرار گرفتهاند. تاکنون تحقیقات محدودی در مورد این سازه انجام شده است. در این مطالعه روابط دبی – اشل دریچه سالونی همعرض کانال و همراه با تبدیلهای ورودی ناگهانی و تدریجی در بالادست، در شرایط جریان آزاد و مستغرق بررسی شده است. آزمایشها در محدوده وسیعی از پارامترهای بدونبعد، ازجمله زاویه بازشدگی و استغراق نسبی دریچه صورت گرفته است. مشاهدات نشان داد که در شرایط جریان آزاد، پارامتر بدون بعد دبی ($\frac{Q'}{gb_s^3}$) با نسبت عمق آب

بالادست به عرض بازشدگی دریچه و در شرایط جریان مستغرق با استغراق نسبی دریچه رابطه دارد. در هر یک از شرایط ذکر شده، با استفاده از تحلیل ابعادی و رگرسپون گیری بین پارامترهای بیبعد مؤثر، روابطی صریح برای دبی- اشل دریچههای سالونی همعرض کانال و همراه با فشردگی جانبی در شرایط جریان آزاد و مستغرق ارائه شد.

واژدهای کلیدی: تبدیل تدریجی و ناگهانی، جریان آزاد و مستغرق، دریچه سالونی، روابط دبی-اشل

مقدمه

عملکرد ضعیف شبکههای آبیاری و تأثیر آن در کاهش بهرهوری آب کشاورزی، ضرورت ارائهی روشهای مؤثر در بهرهبرداری مناسب از شبکههای آبیاری را موجب شده است (Gomez et al, (2002. یکی از اقدامات ضروری و لازم در بهسازی شبکههای آبیاری، تجهیز آنها با استفاده از سازههای کنترل و تنظیم آب کارآمد و قابل اطمینان است. دریچهی سالونی'، یکی از سازههای کنترل و تنظیم جریان آب در کانالها است. این سازه به صورت دو دروازه به دیوارهی مستطیلی در امتداد کانال لولا می شود و با تغییر باز شدگی، امکان تنظیم ارتفاع آب برای دبیهای متفاوت در بالادست دریچه فراهم می شود. با توجه به مزایای این سازه از جمله، درون گذر بودن جریان و امکان کنترل بهتر سطح آب، امکان عبور اجسام شناور و رسوبات به صورت همزمان و قابلیت خودکار سازی، دریچهی سالونی به عنوان یک سازه کنترل و تنظیم سطح آب در کانالها مورد توجه قرار گرفته است. این سازه در دههی ۱۹۸۰ توسط Langeman et ر2006)al, جهت مديريت نوسانات سطح آب در كانالهاى

آبیاری ابداع شد. از جمله کاربردهای موفقیت آمیز این سازه می توان به استفاده از آن در پروژه Middle Rio Grand در نیومکزیکو در سال ۲۰۰۶ اشاره کرد. در این پروژه، به جای استفاده از سازه های انحراف آب فرسوده، از سازه دریچه های سالونی استفاده شد و سازه های آببند مرسوم، توسط دریچه های ی سالونی جایگزین شدند (Oad and Kinzli, 2006). نمای ما متمایک دریچه سالونی در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل Θ زاویه بازشدگی دریچه می اشد.

مطالعات محدودی بر روی دریچه سالونی گزارش شده که آنها را می توان به دو دسته مطالعات انجام شده در شرایط جریان آزاد و مستغرق تقسیم نمود. عمده مطالعات قبلی در شرایط جریان آزاد انجام شده است. شرکت آکواسیستم در سال شرایط جریان آزاد انجام شده است. شرکت آکواسیستم در سال ۲۰۱۲، ((Aqua System 2000 Inc (AS2I)) به منظور کنترل جریان در کانالهای کوچک و متوسط، مدل سازهی دریچهی سالونی را با یک سیستم محرک هیدرولیکی ترکیب کرد. آکواسیستم با انجام آزمایشهایی بر روی دریچههای سالونی، ضمن ارائهی معادلات دبی دریچه سالونی در شرایط جریان آزاد و مستغرق، آستانه استغراق این سازه را ۲/۰ معرفی کرد. طبق تعریف، نسبت عمق آب پاییندست دریچه به عمق آب بالادست

^{*} نویسنده مسئول: monem_mj@modares.ac.ir

 $(\frac{y_i}{y_0})$ ، درجه استغراق دریچه میباشد. بر طبق نظر y_0 آکواسیستم، چنانچه درجه استغراق دریچه کمتر از ۲/۰ باشد، جریان عبوری از دریچه آزاد و در غیر این صورت جریان مستغرق میباشد. Monem (2013) با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط AS2I، روابط دبی- اشل دریچههای سالونی با عرضهای ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ فوت و به ترتیب با بازشدگی ۲/۷، ۲/۶، ۸/۵، ۴/۵ و ۲/۷ فوت را در درجه استغراقهای ۴۰، ۲۰، ۹۰ و ۹۵ درصد ارائه کردند. نسبت بازشدگی این دریچهها، ثابت و برابر ۹/۰ میباشد (زاویهی بازشدگی ۷ درجه). Monem مطلق می ۲۰۹ درجه این این دریچه این و برای ای در درجه بازشدگی ۷ درجه این دریچه ای شابت و برابر ۹/۰ میباشد (زاویه ک بازشدگی ۷ درجه). ماستوان سازه کنترل و تنظیم آب در

کانالهای آبیاری معرفی و روابط دبی در زوایای مختلف بازشدگی دریچههای سالونی همعرض کانال در شرایط جریان آزاد را ارائه نمودند. Naghaei and Monem (2014) به معرفی شرایط مختلف هیدرولیکی و بهرهبرداری دریچه سالونی در کانالهای آبیاری پرداختند. بررسیهای به عمل آمده در این مقاله نشان داد سازه دریچه سالونی میتواند با ۱۸ وضعیت مختلف هیدرولیکی و بهرهبرداری مواجه باشد. برای بررسی عملکرد سازه و اشاعه کاربرد آن در شبکههای آبیاری باید این ۱۸ حالت شناسایی شده و روابط هیدرولیکی آن استخراج شود و کارکرد سازه در شرایط مختلف مورد آزمون قرار بگیرد.



دبی عبوری از دریچههای سالونی با فشردگی جانبی را در دبی عبوری از دریچههای سالونی با فشردگی جانبی را در شرایط جریان آزاد، با استفاده از رابطه انرژی استخراج نمودند. آزمایشگاهی و تحلیلی ضریب دبی دریچه سالونی در شرایط جریان مستغرق پرداختند. در این تحقیق با استفاده از معادله دریچههای سالونی، روشی نیمه تحلیلی جهت برآورد ضریب دبی دریچههای سالونی در شرایط جریان مستغرق ارائه گردیده است که میتواند در برآورد دبی دریچههای سالونی در شرایط مختلف جریان مستغرق مورد استفاده قرار گیرد.

(2015) به بررسی و مقایسه عملکرد دریچه سالونی و کشویی در کانال آبیاری، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS پرداختند. نتایج نشان داد که دریچه سالونی در مقایسه با دریچه کشویی، در شرایط تغییرات ملایم جریان چه در حالت افزایشی و چه در حالت کاهشی، عملکرد

تغییرات دبی ورودی به آبگیرها میشود. Yousofvand et al میشود. (2016) با بهره گیری از معادله مومنتم، رابطهای تحلیلی برای محاسبهی دبی دریچه سالونی هم عرض کانال در شرایط جریان مستغرق ارائه نمودند. سپس با استفاده از معادلهی ارائه شده برای دبی و با استفاده از نتایج آزمایشگاهی رابطهای برای ضریب دبی دریچه سالونی در شرایط جریان مستغرق ارائه شد.

با توجه به مطالعات اندک انجام شده بر روی سازه دریچه سالونی در شرایط هیدرولیکی مختلف، در این تحقیق سعی بر آن است تا روابطی صریح جهت تخمین دبی در شرایط جریان آزاد و مستغرق ارائه شود. بدین منظور، ابتدا پارامترهای بیبعد مؤثر بر دبی سازه با استفاده از تحلیل ابعادی تعیین گردید. سپس روابط دبی-اشل دریچه در سه وضعیت مختلف دریچه و در شرایط جریان آزاد و مستغرق، با استفاده از پارامترهای بیبعد مؤثر و نتایج آزمایشگاهی ارائه شد. درنهایت کارایی روابط دبی-اشل پیشنهادی در مقایسه با روابط پیشین بررسی -گردید.

تحليل ابعادى

دبی عبوری از دریچه ی سالونی، تابعی از عمق آب در بالادست
$$b_g$$
 (y_0) و پاییندست (y_t) دریچه، عرض بازشدگی دریچه (g_g) ، عرض دریچه (B_g)، عرض کانال (B)، زاویه بازشدگی دریچه (θ)، عرض دریچه (θ) و خصوصیات جریان ((μ, ρ, ρ, μ)) است. با توجه به ثابت بودن عرض دریچه و وابسته بودن دو پارامتر عرض دریچه و عرض کانال و عرض کانال در این تحقیق (در حالت دریچه هم عرض کانال $B = B_g$ میباشد)، عرض کانال در تحلیل ابعادی در نظر گرفته شده است. بانبراین عرض کانار گرفته شده است. بابراین عرض کانان گرفته شده است.

$$F(Q, y_0, y_t, b_g, B, g, \rho, \mu, \theta) = 0$$
 (۱ (رابطه)

 \sqrt{gb}

با
$$Q$$
 نشان داده می شود. همچنین $\frac{Y_t}{y_0}$ استغراق نسبی دریچه،
 $\frac{9}{y_0}$ نسبت عمق آب بالادست به عرض بازشدگی دریچه، θ
زاویه بازشدگی دریچه و Re₁ عدد رینولدز جریان بالادست
است. عدد رینولدز جریان بیان کننده تأثیر نیروهای لزجت می-
باشد و در زوایای بزرگ بازشدگی که عمق آب در بالادست
دریچه کاهش می یابد تأثیر تعیین کننده ای ندارد. با توجه به
انجام آزمایش ها در محدوده ی جریان متلاطم و برای زوایای
بازشدگی ۴۵ تا ۷۰ درجه، تأثیر عدد رینولدز بر دبی جریان
ناچیز است. بنابراین رابطه ی دبی دریچه ی سالونی برحسب

$$Q^* = f(\frac{y_0}{b_g}, \frac{y_t}{y_0}, \theta) \qquad (\texttt{f} \text{ (left)})$$

همچنین با داشتن سرعت جریان، عدد فرود در تمام آزمایشها محاسبه شد. مشاهده گردید که عدد فرود در محدودهی ۰/۴۹۸ تا ۰/۴۹۸ قرار دارد. همانطور که مشاهده میشود در همهی آزمایشها عدد فرود، عددی زیر یک بوده و جریان زیر بحرانی است. آرطرفی بارامتر بدون بعد دبی مشابهت نزدیکی به عدد فرود دارد و

میتوان اظهار داشت که تأثیر عدد فرود به نوعی در این پارامتر دیده شده است.

مواد و روشها

به منظور مطالعه روابط دبی-اشل دریچههای سالونی از یک مدل آزمایشگاهی در موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو استفاده شد. دریچه ممکن است هم عرض کانال باشد که در این صورت نیازی به استفاده از تبدیل نیست و یا اینکه عرض کمتری نسبت به عرض کانال داشته باشد که در این حالت برای نصب دریچه روی کانال به تبدیل نیاز است. بنابراین دریچه سالونی در سه وضعیت مختلف، دریچه سالونی همعرض کانال و نیز دریچه سالونی با عرضی کمتر از عرض کانال، همراه با استفاده از تبدیلهای ناگهانی و تدریجی در بالادست طراحی و ساخته شد. در این تحقیق از تبدیل تدریجی با زاویه ۳۰ درجه استفاده شد. طول تبدیل تدریجی ۴۳/۳ سانتیمتر و طول تبدیل ناگهانی نیز ۱۰ سانتیمتر میباشد. نمای کلی مدلهای مورد استفاده در شکل (۲) ارائه شدهاند. کانال آزمایشگاهی مورد استفاده دارای طول، عرض و ارتفاعی به ترتیب برابر با ۱۰/۳، ۱ و ۱ متر است. در بالادست کانال، یک مخزن به ابعاد ۱۰×۱۰×۴/۵ متر وجود دارد که آب را از طریق یک سرریز اوجی کالیبره شده وارد كانال مى كند. با استفاده از منحنى دبى – اشل سرريز اوجى، دبى وارده به کانال قبل از انجام آزمایش ها تنظیم می شد. پلان و مقطع جانبی کانال آزمایشگاهی در شکل (۳) نمایش داده شده است.

آزمایشها بر روی این سازه در دو شرایط جریان آزاد و مستغرق (با ۳ درجه استغراق ۵/۰، V/ و V/) انجام شد. عرض و ارتفاع دریچه به ترتیب ۵۰ و ۶۰ سانتیمتر بود. برای تنظیم درجه استغراق سازه، از یک دریچه کشویی به ابعاد ۲×۱ متر واقع در انتهای کانال استفاده شد. منظور از درجه استغراق صفر، شرایط جریان آزاد است. دریچه در ۵ زاویه بازشدگی و با ۳ دبی مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. در هر وضعیت دریچه سالونی، ۱۵ آزمایش در شرایط جریان آزاد و ۴۵ آزمایش در شرایط جریان انجام شد. عمق جریان آزاد و ۴۵ آزمایش در ۳ وضعیت مستغرق انجام شد. بدین ترتیب جمعاً ۱۸۰ آزمایش در ۳ وضعیت نتظیم میشد. y_0 در فاصلهی ۱/۸ متری از بالادست دریچه و با در فاصلهی ۲/۹ متری از پاییندست دریچه اندازه گیری شده است. مشخصات کلی مربوط به آزمایشها در جدول (۱) ذکر شده است.

^{1.} Point Gauge





ج) شکل ۲. الف – دریچه سالونی با تبدیل ناگهانی ب- دریچه سالونی با تبدیل تدریجی ج- دریچه سالونی همعرض کانال







دبی (لیتر بر ثانیه بر متر)			زاویه بازشدگی دریچه (θ) (درجه)	درجه استغراق دریچه	عرض کانال (سانتیمتر)	عرض دریچه (سانتیمتر)	دریچه سالونی		
۴.	۵۰	۶.							
	\checkmark		$-\mathcal{F} \cdot -\mathcal{F} \vee \Delta - \vee \cdot$ F $\Delta - \Delta \vee \Delta$	•-•/&-•/Y-•/٩	۵۰	۵۰	دریچه سالونی بدون تبدیل		
\checkmark	\checkmark	\checkmark	-8•-87/۵-7• 40-07/0	•-•/&-•/Y-•/٩	۱۰۰	۵۰	دریچه سالونی با تبدیل ناگهانی		
\checkmark	\checkmark	\checkmark	-881/2-1. 42-21/2	•-•/&-•/Y-•/٩	۱۰۰	۵۰	دریچه سالونی با تبدیل تدریجی		

جدول ۱. آزمایشهای انجامشده با دبی، زاویه بازشدگی و درجه استغراقهای مختلف

پس از انجام آزمایشها و حصول دادهها، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و رگرسیون گیری بین پارامترهای بیبعد مؤثر، روابط دبی- اشل جهت تخمین دبی در شرایط جریان آزاد و مستغرق در سه وضعیت مختلف دریچه ارائه گردید.

در نهایت به منظور ارزیابی روابط دبی- اشل پیشنهادی در این تحقیق، از پارامترهای مختلف آماری شامل جذر میانگین مربعات خطا^۲ RMSE، میانگین خطای نسبی^۲ MAPE و خطای نسبی^۳ RE که به ترتیب به صورت روابط (۵) تا (۷) تعریف شدهاند، استفاده گردید:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_{measured} - x_{calculated})^2}{N}}$$
 (۵) (رابطه (۵)

$$MAPE = \frac{\sum \left(\left| 1 - \frac{x_{calculated}}{x_{measured}} \right| \right)}{N} \times 100$$
 ((equal to the second secon

$$RE = \frac{x_{measured} - x_{calculated}}{x_{measured}} \times 100$$
 (۲ رابطه)

در این روابط، X_{measured} مقدار اندازه *گ*یری شده و X_{calculated} مقدار محاسبه شده است.

ارائه و تفسير نتايج

در این پژوهش منظور از جریان آزاد جریانی است که افزایش سطح آب در پاییندست دریچه باعث تغییر سطح آب در بالادست نشود. همچنین از جایی که عمق آب در پاییندست سطح آب در بالادست را تغییر داده و بر آن تأثیر می گذارد جریان مستغرق در نظر گرفته شده است. مرز استغراق دریچه

2. Mean Absolute Percentage Error

در مقالات دیگر تشریح شده است (,2015, Yosofvand et al. 2015). در ادامه نتایج حاصل در هر دو شرایط جریان آزاد و مستغرق به تفکیک آورده شده است.

جریان آزاد

در شرایط جریان آزاد، Q^* تابعی از نسبت عمق آب بالادست به عرض بازشدگی دریچه ($\frac{y_0}{b_g}$) و زاویه بازشدگی دریچه خواهد بود. در شکل (۴) مقادیر Q^* ، در مقابل $\frac{y_0}{b_g}$ برای دریچه سالونی بدون تبدیل و نیز دریچه با تبدیلهای ناگهانی و تدریجی در شرایط جریان آزاد نشان داده شده است. بر اساس تحلیل ابعادی انجام شده (رابطه ۴) و با توجه به نمودارهای شکل (۴)، میتوان رابطهی کلی (۸) را برای دبی دریچه سالونی در شرایط جریان آزاد در هر سه وضعیت، متصور شد:

$$Q^* = \alpha \left(\frac{y_0}{b_g}\right)^{\beta}$$
 (۸ (رابطه))

در این رابطه ضریب lpha و نیز توان \hat{eta} توابعی از زاویه بازشدگی دریچه (heta) میباشند:

$$\begin{cases} \alpha = f_1(\theta) \\ \beta = f_2(\theta) \end{cases}$$
 $\theta = Arccos(1 - \frac{b_g}{B_g})$ (۹ (بابطه))
 $(Q^* = \frac{Q/B}{\sqrt{gb_g^3}})$ در شکل (۵)، پارامتر بدون بعد دبی ($Q^* = \frac{Q/B}{\sqrt{gb_g^3}}$

رابطه دبی-اشل پیشنهادی (رابطه ۸)، در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده است. با توجه به این نمودارها حداکثر خطای نسبی محاسبه دبی در شرایط جریان آزاد با استفاده از روابط پیشنهادی، ۵٪± میباشد.

^{1.} Root Mean Square Error

^{3.} Relative Error



شکل ۴. مقادیر آزمایشگاهی ${Q^{st}}$ در مقابل ${y_0}/{b_g}$ برای وضعیتهای مختلف دریچه سالونی در شرایط جریان آزاد



شکل ۵. مقایسه دبی بهدست آمده از روابط پیشنهادی با نتایج آزمایشگاهی در شرایط جریان آزاد

www.SID.ir

آزمایشگاهی حاصل می شود. در این رابطه، در صورتی که جریان آزاد باشد یعنی $\mathbf{O} \longrightarrow \mathcal{Y}_{,} \to \mathbf{O}$ ، دبی برابر با دبی جریان آزاد خواهد بود ($\mathcal{Q}^*_{submerged} = \mathcal{Q}^*_{free}$) که منطقی است. بر این اساس روابط (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) به ترتیب برای دریچه سالونی هم-عرض کانال و نیز دریچه با تبدیل های ناگهانی و تدریجی در شرایط جریان مستغرق به دست می آید:

$$\frac{Q^* \text{Submerged}}{Q^* \text{free}} = (1 - (\frac{y_t}{y_0})^{1.334})^{0.214} \qquad (1)$$

$$\frac{Q^* \text{ submerged}}{Q^* \text{ free}} = (1 - (\frac{y_t}{y_0})^{1.286})^{0.191} \qquad (17)$$

$$\frac{\underline{Q}^{*}_{Submerged}}{\underline{Q}^{*}_{free}} = (1 - (\frac{y_{t}}{y_{0}})^{1.826})^{0.266}$$
(ابطه ۱۳)

جریان مستغرق
در شرایط جریان مستغرق، دبی جریان علاوه بر زاویه بازشدگی
دریچه و پارامتر
$$\frac{y_0}{b_g}$$
، تابعی از استغراق نسبی دریچه ($\frac{y_t}{y_0}$)
نیز میباشد. بنابراین میتوان نسبت پارامتر بدون بعد دبی در
شرایط استغراق به شرایط جریان آزاد ($\frac{Q^*submerged}{Q^*free}$) را به
صورت تابعی از استغراق نسبی دریچه مطابق شکل (۶) به شکل
رابطه (۱۰) پیشنهاد کرد:

$$\frac{Q^* \text{Submerged}}{Q^* \text{free}} = (1 - (\frac{y_t}{y_0})^{\lambda})^{\gamma} \qquad (1 \cdot \eta)^{\gamma}$$
در این رابطه، λ و γ بر اساس تحلیل رگرسیونی از نتایج



با توجه به این نمودارها حداکثر خطای نسبی محاسبه دبی در شرایط جریان مستغرق با استفاده از روابط پیشنهادی، ۱۰./± میباشد. بنابراین با داشتن Q_{free}^{*} از رابطه (۸)، میتوان دبی جریان در شرایط استغراق را با استفاده از روابط پیشنهادی (۱۱)، (۱۲) و (۱۳) به ترتیب برای دریچه سالونی همعرض کانال و نیز دریچه سالونی با تبدیلهای ناگهانی و تدریجی، با دقت مطلوب محاسبه نمود. جدول (۲) محدوده تغییرات پارامترهای مختلف در این مطالعه را نشان میدهد. با توجه به شکل (۶) مشاهده می شود که با افزایش نسبت استغراق دریچه به دلیل کاهش جریانهای ثانویه، هد بالادست دریچه افزایش یافته و در نتیجه هد سرعت کاهش می یابد که منجر به کاهش دبی جریان می شود. در شکل (۶)، پارامتر بدون بعد دبی (^{*}) از روابط پیشنهادی (روابط ۱۲،۱۱ و ۱۳)، در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی برای دریچه سالونی هم عرض کانال و نیز دریچه سالونی با تبدیلهای ناگهانی و تدریجی نشان داده شده است.

در صورت نصب دریچه همراه با تبدیلهای تدریجی یا ناگهانی در کانال، جریانهای ثانویهای در بالادست دریچه شکل گرفته و افت انرژی افزایش مییابد، لذا دبی جریان عبوری از دریچه کاهش مییابد. از طرفی افت انرژی در تبدیلهای

ناگهانی بیشتر از تبدیلهای تدریجی است، به همین دلیل مشاهده می شود که با قرار دادن تبدیل ناگهانی در مقایسه با تبدیل تدریجی، دبی به مقدار بیشتری کاهش مییابد و برای تبدیل تدریجی این تأثیر کمتر است.



	حقيق	ت پارامىرھاى مختلف در اين د	جدول ۱. محدوده تغييرا	
$\frac{y_t}{y_0}$	$rac{{m y}_0}{{m b}_s}$	Re ₁	Fr ₁	وضعيت استقرار دريچه
۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹	•/794-7/838	$1 \cdot {}^{\diamond} \times f/\lambda - 1 \cdot {}^{\diamond} \times \cdot/9$	•/117 - •/49X	دریچه سالونی همعرض کانال
۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹	•/466_7/3•0	۱۰ ^۵ ×۱۱/۷-۱۰ ^۵ ×۱/۹	•/• & \ -•/۲\٣	دریچه سالونی با تبدیل ناگهانی
۰/۵ ،۰/۷ ،۰/۹	•/478-7/754	$1 \cdot {}^{\diamond} \times 1 \cdot / \mathcal{F} - 1 \cdot {}^{\diamond} \times 1 / \mathcal{F}$	•/• ۵ -•/۲۴۴	دریچه سالونی با تبدیل تدریجی

مقایسه روابط پیشنهادی با مطالعات پیشین

در شکل (۸)، پارامتر بدون بعد دبی (Q^*) بهدست آمده از معادله آکواسیستم و رابطه دبی- اشل پیشنهادی در مطالعه www.SID.ir

حاضر در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده است. با توجه به این نمودار، رابطه دبی – اشل پیشنهادی در این تحقیق در مقایسه با معادلات آکواسیستم، دارای تطبیق بیشتری با

نتایج آزمایشگاهی است که یکی از علل آن در نظر گرفتن همه-ی پارامترهای بدون بعد مؤثر بر دبی دریچه سالونی، ازجمله زاویه بازشدگی و استغراق نسبی دریچه (θ و $\frac{y_0}{b_g}$ و $\frac{y}{y_0}$)، در

روابط پیشنهادی است. علاوه بر این مزیت دیگر روابط دبی -اشل پیشنهادی در این تحقیق، بدون بعد بودن این روابط است.



شکل ۸. پارامتر بدون بعد دبی بهدست آمده از معادله آکوا سیستم و روابط دبی -اشل پیشنهادی در مطالعه حاضر در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

به علت تشکیل جریانهای ثانویه در بالادست دریچه و افزایش افت انرژی، باعث کاهش دبی جریان عبوری از دریچه می شود و نیز بر اساس تحلیل آماری انجام شده، در صورت امکان استفاده از دریچه بدون تبدیل مناسبتر است زیرا باعث کاهش افت جریان و افزایش دبی عبوری خواهد شد. در صورت نیاز به استفاده از تبدیل همراه دریچه، توصیه می شود که از تبدیل تدریجی استفاده شود زیرا افت انرژی آن و نیز خطای اندازه-گیری نسبت به تبدیل ناگهانی کمتر می باشد.

جداول (۳) و (۴) مقادیر پارامترهای آماری را به ازای کاربرد روابط دبی- اشل مختلف در شرایط جریان آزاد و مستغرق بدست میدهد. با توجه به این جداول و در مقایسه با روابط ارائه شده توسط آکوا سیستم، روابط دبی – اشل پیشنهادی در این تحقیق دارای دقت مناسبی در تعیین دبی دریچهی سالونی در وضعیتهای مختلف است. حداکثر خطای نسبی محاسبه دبی با استفاده از روابط دبی – اشل پیشنهادی، در شرایط جریان آزاد ۵٪± و در شرایط جریان مستغرق ۱۰٪± میباشد. با توجه به اینکه نصب دریچه در کانال همراه با تبدیل،

آزاد	ن	ىر يا	ا ج	رايط	ار ش	ی د	يشنهاد	اشل	دبى-	روابط	نسبى	فطای	ىبى و •	طای نس	گین خا	خطا، میان	مربعات ،	میانگین ،	. جذر	, ۳.	مدول
------	---	-------	-----	------	------	-----	--------	-----	------	-------	------	------	---------	--------	--------	-----------	----------	-----------	-------	------	------

RE (%)	MAPE (%)	RMSE	وضعيت استقرار دريچه
'/.±۵	۲/۸۷۴	• / • • Y	دریچه همعرض کانال
۰.±۵	1/894	•/••۵	دریچه با تبدیل ناگهانی
۰.±۵	1/888	•/••۴	دریچه با تبدیل تدریجی
<u>٪</u> ±۱۰	۵/۶۱	•/• 11	رابطه آكواسيستم

جدول ۴. جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای نسبی و خطای نسبی روابط دبی–اشل پیشنهادی در شرایط جریان مستغرق

RE (%)	MAPE (%)	RMSE	وضعيت استقرار دريچه
−٪.۵ + ۲́.۱۰	۴/۳۱۵	•/• ١٢	۔ دریچه همعرض کانال
′/.±۵	۴/۵۵۸	•/•10	دریچه با تبدیل ناگهانی
۲.±۱۰	8/498	• / •) Y	دریچه با تبدیل تدریجی
<u>٪.</u> ±۱۰	11/84	•/• \ \	رابطه آكواسيستم

نتيجهگيرى

هدف از مطالعه اخیر، ارائه روابطی کارا جهت تخمین دبی در شرایط جریان آزاد و مستغرق بود. مهمترین نتایج حاصل از این تحقیق را میتوان به شرح زیر برشمرد:

مهمترین پارامترهای بیبعد مؤثر بر دبی جریان دریچه سالونی، در شرایط جریان آزاد زاویه بازشدگی دریچه و نسبت عمق آب در بالادست به عرض بازشدگی دریچه (y_0/b_g) و در شرایط جریان مستغرق علاوه بر این دو، استغراق نسبی دریچه (y_t/y_0) است.

در شرایط جریان آزاد پارامتر بدون بعد دبی (Q^*) با نسبت y_0/b_s رابطه ای توانی دارد. ضرایب این رابطه توانی تابعی از زاویه بازشدگی دریچه است.

با داشتن روابط دبی- اشل جریان آزاد و استغراق نسبی دریچه، میتوان دبی جریان مستغرق را با استفاده از روابط دبی-اشل پیشنهادی برای شرایط جریان مستغرق بدست آورد.

کاربرد روابط ارائه شده در این تحقیق در شرایط جریان آزاد و مستغرق، برای زوایای ۴۵ تا ۷۰ درجه و محدودهی

نمادها

عدد فرود جریان بالادست میانگین خطای نسبی پارامتر بدون بعد دبی

پارامتر بدون بعد دبی در شرایط جریان آزاد پارامتر بدون بعد دبی در شرایط جریان مستغرق جذر میانگین مربعات خطا خطای نسبی عدد رینولدز جریان بالادست

نسبت عمق آب پایین دست دریچه به عمق آب بالادست

نسبت عمق آب بالادست به عرض بازشدگی دریچه

- Langeman, p., Craig, k., Elser, p. and Allen, L. (2006). Irrigation Gate System. US Patent 7,114,878 B2.
- Naghaei, R. and Monem, M.J. (2013). Introducing the lopac gate to regulation the water level in irrigation channels and presentation its Hydraulic relationships. In: Proceeding of the 4th National Conference on Irrigation and Drainage networks

پارامترهای ارائه شده در جدول (۲) میباشد.

در صورت نصب دریچه همراه با تبدیل در کانال، دبی جریان به علت تشکیل جریانهای ثانویه در بالادست دریچه و افزایش افت انرژی، کاهش مییابد. با قرار دادن تبدیل ناگهانی در مقایسه با تبدیل تدریجی، دبی به مقدار بیشتری کاهش می-یابد، درحالی که برای تبدیل تدریجی این تأثیر کمتر است.

روابط دبی- اشل پیشنهادی در این تحقیق، تطبیق مطلوبی با سایر مطالعات انجام شده و نتایج آزمایشگاهی داشت. حداکثر خطای نسبی محاسبه دبی با استفاده از روابط دبی-اشل پیشنهادی، در شرایط جریان آزاد ۵٪± و در شرایط جریان مستغرق ۱۰٪± میباشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از حمایتها و همکاری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، بالاخص پژوهشکده مهندسی هیدرولیک و محیطهای آبی، جناب آقای دکتر عباس اکبرزاده، مهندس رضا روشن، مهندس علی خراسانی زاده و مهندس سهند اکبریان قدردانی میشود.



REFERENCES

- Aqua Systems 2000 Inc .(2012). *Leaders in Water Management and Control*, Retrieved september 10, 2016, from http://www.as2i.net/products/controlgates/hydra-lopac-gate.
- Gomez, M., Rodellar, J. and Mantencon, J. (2002). Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals. *Applied Mathematical Modeling*, 26,1039-1056.

25-27 February., Chamran University, Iran. (In Farsi)

- Naghaei, R. and Monem, M.J. (2014). Introducing of different hydraulic and regulation conditions of Lopac gate in irrigation canals. In: Proceeding of the First National Conference on Irrigation and Agricultural Water Productivity.30 January., Ferdowsi University, Iran. (In Farsi)
- Oad, R. and Kinzli, K. (2006). SCADA Employed in Middle Rio Grande Valley to Help Deliver Water Efficiently. *Newsletter of the water center at Colorado state university*, 25.
- Sadeghi, S. and Monem, M.J. (2015). The comparison between lopac gate and Slide gate in irrigation canal under ASCE test cases. In: Proceeding of the First National Congress on Irans Irrigation & Drainage, 13-14 May., Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Farsi)
- Yousofvand, F. and Monem, M.J. (2014a). Introducing the lopac gate and Estimating Flow Equation In

Free Condition. In: Proceeding of *the 13th Iranian Hydraulic Conference*,12-14 Nov., University of Tabriz, Iran. (In Farsi)

- Yousofvand, F. and Monem, M.J. (2014b). Estimating Flow Equation for Lopac Gate as new check structure with side compression using Energy Equation In Free Condition. In Proceeding of *The* 2th National Conference on Farm Water Management, 21 Oct., Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran. (In Farsi)
- Yousofvand, F., Monem, M.J. and Kavianpour, M.R. (2015). Experimental and Theoretical Analysis of Discharge Coefficient for Submerged Lopac Gate. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 5(9), 811-819. (In Farsi).
- Yousofvand, F., Monem, M.J. and Kavianpour, M.R. (2016). Estimating Flow and Discharge Coefficient Equations for Lopac Gate in Submerged Condition. *Iranian Water Research Journal, Accepted*. (In Farsi)