

ارزیابی آزمایشگاهی و تحلیلی ضریب دبی دریاچه سالونی در شرایط جریان مستغرق

فاطمه یوسفوند^۱، محمدجواد منعم^{۲*}، محمدرضا کاویانپور^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۰/۹

چکیده

برآورد ضریب دبی دریاچه‌های سالونی، اهمیت به‌سزایی در برآورد میزان بده آن‌ها به عنوان یک سازه کنترل و تنظیم جریان دارا می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از معادله دبی دریاچه سالونی، روشی نیمه تحلیلی جهت برآورد ضریب دبی دریاچه‌های سالونی در شرایط جریان مستغرق ارائه گردیده است که می‌تواند در برآورد دبی دریاچه‌های سالونی در شرایط مختلف جریان مستغرق مورد استفاده قرار گیرد. در شرایط جریان مستغرق ضریب دبی تابعی از نسبت بازشدگی و استغراق نسبی دریاچه است. در تحقیق حاضر معادله نظری جهت برآورد ضریب دبی بر اساس داده‌های آزمایشگاهی ارائه می‌گردد. نتایج این تحقیق برای دریاچه سالونی هم‌عرض کانال و نیز دریاچه با عرض کم‌تر به کمک تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی ارائه شده است. ضریب دبی جریان مستغرق در صورت نصب دریاچه همراه با تبدیل در کانال، کوچک‌تر از حالت دریاچه هم‌عرض کانال است. روابط ارائه شده برای ضریب دبی، دارای حداکثر خطایی برابر $\pm 10\%$ می‌باشند. مقایسه نتایج حاصل از معادله تحلیلی حاضر با سایر روابط نیز انجام شد. نتایج بیانگر کارایی معادله این تحقیق در برآورد ضریب دبی جریان در شرایط جریان مستغرق دارد.

واژه‌های کلیدی: تبدیل، جریان مستغرق، دریاچه سالونی، ضریب دبی، کانال آبیاری

مقدمه

محققین همواره تلاش دارند سازه‌هایی با کارایی بالاتر، بهره‌برداری راحت‌تر و رفتار هیدرولیکی مناسب‌تر ابداع نمایند (نقائی، ۱۳۹۲). یکی از سازه‌های تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری، دریاچه‌ی سالونی^۴ است که به عنوان سازه کنترل عمق جریان یا آب بند مطرح است. دریاچه‌ی سالونی به صورت دو دروازه به دیواره‌ی مستطیلی در امتداد کانال لولا می‌شود. دریاچه در امتداد جریان باز شده و با تغییر بازشدگی، امکان تنظیم ارتفاع آب برای دبی‌های متفاوت در بالادست دریاچه فراهم می‌شود (Oad., 2006). با توجه به مزایای این سازه، دریاچه‌ی سالونی به عنوان یک سازه‌ی کنترل و تنظیم سطح آب در کانال‌ها مورد توجه قرار گرفته است. دلیل توسعه‌ی دریاچه‌های سالونی، سهولت در بهره‌برداری، سادگی طراحی، امکان عبور اجسام شناور و رسوبات به‌طور هم‌زمان و قابلیت خودکارشدن آسان است.

دریاچه‌ی سالونی در دهه‌ی ۱۹۸۰ توسط پیتز لانگمن و همکاران جهت مدیریت نوسانات سطح آب در کانال‌های آبیاری ابداع و تاکنون تعدادی از کاربردهای موفقیت آمیز آن هم‌چون پروژه Middle Rio Grand در نیومکزیکو در سال ۲۰۰۶ گزارش شده است (Langemann et al., 2006). در این پروژه، بجای استفاده از سازه‌های آب‌بند مرسوم، از دریاچه سالونی استفاده شد. به منظور ارزیابی راه حل انعطاف پذیر و اقتصادی برای کنترل جریان در کانال -

بالاترین مقدار مصرف آب در کشور متعلق به بخش کشاورزی است، در نتیجه اگر بهبود اندکی در بهره‌وری آب این بخش صورت گیرد آثار بزرگی را به همراه خواهد داشت. در سال‌های اخیر مباحث به‌سازی و بازسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی به‌طور جدی مطرح شده‌است (اسدی و همکاران، ۱۳۹۰). کنترل جریان و تنظیم سطح آب در شبکه‌های آبیاری، برای ارتقا عملکرد شبکه‌ها و سهولت کارکرد آب‌گیرها موضوع مهمی است که نیازمند بهبود سازه‌های کنترل و تنظیم موجود و نیز استفاده از سازه‌های نوین در شبکه‌ها می‌باشد. (حسین زاده، ۱۳۹۱). یکی از ضروری‌ترین اقدامات لازم در به‌سازی شبکه‌ها تجهیز آن‌ها با سازه‌های کنترل و تنظیم آب کارا و قابل اطمینان است. از طرف دیگر، سازه‌هایی که در کانال‌های آبیاری نصب می‌شوند، باید به‌گونه‌ای عمل کنند که ضمن تنظیم دقیق سطح آب در سطح هدف، تمامی آب‌گیرها از کانال به اندازه مورد نیاز آب دریافت کنند.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

* - نویسنده مسئول: (Email: monem_mj@modares.ac.ir)

(۱۳۹۴) به بررسی و مقایسه عملکرد دریاچه سالونی و کشویی در کانال آبیاری، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS پرداختند. نتایج نشان داد که دریاچه سالونی در مقایسه با دریاچه کشویی، در شرایط تغییرات ملایم جریان چه در حالت افزایشی و چه در حالت کاهش، عملکرد بهتری در کنترل و تنظیم تراز سطح آب دارد و موجب کاهش تغییرات دبی ورودی به آبگیرها می‌شود. در جدول ۱ معادلات گزارش شده توسط محققین مختلف برای تخمین دبی و ضریب دبی در شرایط جریان مستغرق آورده شده است. در این روابط Q دبی جریان، y_1 و y_2 به ترتیب عمق آب بالادست و پایین دست دریاچه، b_g عرض بازشدگی دریاچه، B_g عرض دریاچه و C_d ضریب دبی جریان مستغرق است.

در تحقیق حاضر روشی جهت برآورد ضریب دبی دریاچه‌های سالونی هم‌عرض کانال و نیز دریاچه با عرض متفاوت به کمک تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی در شرایط جریان مستغرق، بر پایه حل تحلیلی معادله دبی (معادله پیشنهادی یوسفوند، ۱۳۹۳) و نتایج آزمایشگاهی ارائه شده است. معادلات بی بعد بوده و شامل مجموعه پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی شامل تأثیر تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی، در شرایط جریان مستغرق است.

های کوچک و متوسط، دریاچه‌ی سالونی را با یک سیستم محرک هیدرولیکی ترکیب کرد (AS2I) Aqua System 2000 Inc و با انجام آزمایشاتی بر روی دریاچه‌های سالونی، ضمن ارائه‌ی معادلات دبی دریاچه سالونی در شرایط جریان آزاد و مستغرق، رابطه‌ای برای ضریب دبی دریاچه سالونی ارائه نمود. شکل ۱، نمایی از بالادست دریاچه سالونی مورد استفاده در پروژه Middle Rio Grand را نشان می‌دهد.

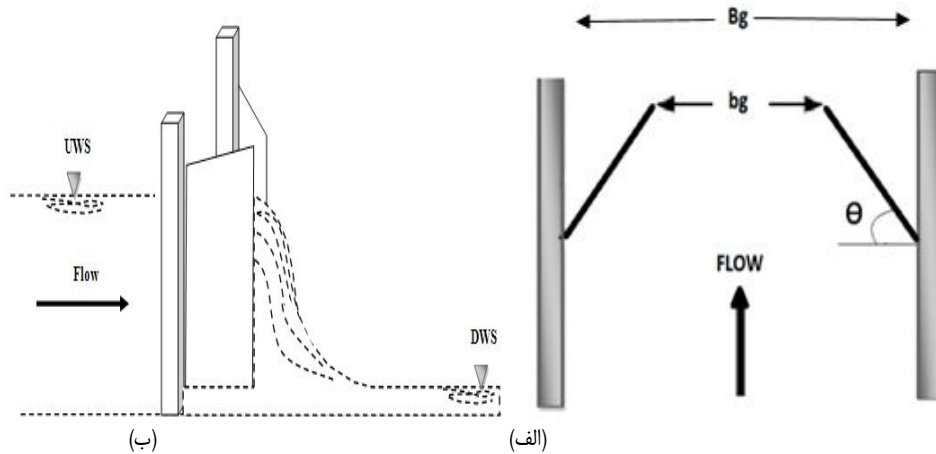
یوسفوند (۱۳۹۳) با بهره‌گیری از معادله مومنتم، معادلات دبی و ضریب دبی دریاچه سالونی هم‌عرض کانال در شرایط مستغرق را گزارش کرد. نقائی و منعم (۱۳۹۲) با استفاده از نمودارهای ارایه شده AS2I، رابطه دبی-اشل برای دریاچه سالونی با عرض ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ فوت به ترتیب با بازشدگی ۲/۷، ۳/۶، ۴/۵، ۵/۴ و ۷/۳ فوت را گزارش نمودند. زاویه‌ی بازشدگی ۷۰ درجه و نسبت استغراق ۴۰، ۷۰، ۹۰ و ۹۵ درصد بودند. نسبت عرض بازشدگی به عرض دریاچه برای دریاچه‌های مختلف ثابت و برابر با ۰/۹ می‌باشند. یوسفوند و منعم (۱۳۹۳) ضمن معرفی دریاچه‌های سالونی، رابطه دبی دریاچه‌های سالونی هم‌عرض کانال در شرایط جریان آزاد را ارائه نمودند. در پژوهشی دیگر، یوسفوند و منعم (۱۳۹۳) رابطه هیدرولیکی دبی عبوری از دریاچه‌های سالونی با فشردگی جانبی را در شرایط جریان آزاد، با استفاده از رابطه انرژی استخراج نمودند. صادقی و منعم



شکل ۱- نمایی از بالادست دریاچه‌ی سالونی (Aqua System 2000 Inc)

جدول ۱- روابط تعیین دبی و ضریب دبی دریاچه سالونی هم‌عرض کانال در شرایط جریان مستغرق

توضیحات	رابطه پیشنهادی ضریب دبی	رابطه پیشنهادی دبی	محقق
$y_1, y_2, b_g (ft)$ $Q(ft^3/s)$	$C_d = 0.860 - 0.890 \times \left(\frac{y_2}{y_1}\right)^2 + \left(\frac{0.285}{y_1}\right)$	$Q = 4.012 \times C_d \times b_g \times \sqrt{(y_1^2 - y_2^2) \times \left(\frac{1}{y_2} - \frac{1}{y_1}\right)^{-1}}$	اکواسیستم (۱۳۹۲)
$y_1, y_2, b_g, B_g (m)$ $Q(m^3/s)$	$C_d = 1.726 + 0.053 \left(\frac{b_g}{B_g}\right) - 1.4 \left(\frac{y_2}{y_1}\right)$	$Q = 2.215 \times c_d \times b_g \times \sqrt{(y_1^2 - y_2^2) \times \left(\frac{1}{y_2} - \frac{1}{y_1}\right)^{-1}}$	یوسفوند (۱۳۹۳)



شکل ۲- الف) پلان دریاچه سالونی ب) پروفیل جریان عبوری از دریاچه سالونی

نسبت استغراق ۰/۵، ۰/۷ و ۰/۹ با ۳ دبی مختلف و در مجموع ۱۳۵ آزمایش انجام شد. عمق جریان توسط عمق سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر ثبت و زاویه دریاچه توسط زاویه‌سنج با دقت بالا تنظیم شد. شکل ۳، دریاچه سالونی هم‌عرض کانال و نیز دریاچه با تبدیل ناگهانی و تدریجی در کانال آزمایشگاهی مورد استفاده را نشان می‌دهد.

تحلیل ضریب دبی

سرریزها، سازه‌های روگذر اندازه‌گیری جریان‌اند که عمود بر جهت جریان در مجاری روباز قرار می‌گیرند. دریاچه‌های سالونی نیز به صورت عمود بر جهت جریان در کانال نصب شده و با تغییر زاویه بازشدگی دریاچه، رقوم سطح آب بالادست خود را در رقوم موردنظر تثبیت می‌نماید. پروفیل جریان عبوری از دریاچه سالونی نیز به صورت روگذر بوده و رفتاری مشابه جریان عبوری از سرریزها دارد. با توجه به مشابه بودن رفتار هیدرولیکی دریاچه سالونی با سرریزها، می‌توان رابطه تحلیلی دبی دریاچه را به صورت رابطه ۲ تعریف کرد:

$$Q = C_d \sqrt{2g} y_1 A = C_d \sqrt{2g} y_1 y_1 b_g \quad (2)$$

در رابطه ۲، C_d ضریب دبی جریان، A سطح مقطع جریان عبوری و g شتاب ثقل است. از تساوی این رابطه با معادله ۱ رابطه ۳ حاصل می‌شود:

$$C_d = 0.5 \sqrt{\frac{(y_1^2 - y_2^2) \times \left(\frac{1}{y_2} - \frac{1}{y_1}\right)^{-1}}{y_1^3}} \quad (3)$$

با در نظر گرفتن $S = \frac{y_2}{y_1}$ خواهیم داشت (رابطه ۴):

$$C_d = 0.5 \times S \sqrt{\frac{1+S}{S}} \quad (4)$$

مقایسه کارایی معادلات پیشنهادی در برآورد ضریب دبی با معادلات پیشین نیز در مجموعه اهداف این تحقیق قرار دارد. نمای شماتیک دریاچه سالونی در شکل ۲ نشان داده شده است. در این شکل θ زاویه بازشدگی دریاچه، UWS سطح آب بالادست و DWS سطح آب پایین دست دریاچه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مطالعات آزمایشگاهی

ابتدا با استفاده از رابطه دبی بیان شده برای دریاچه سالونی در شرایط جریان مستغرق که توسط یوسفوند (۱۳۹۳) مطابق رابطه ۱ گزارش شده، رابطه‌ی تحلیلی ضریب دبی استخراج و سپس با بهره‌گیری از نتایج آزمایشگاهی ضرایب این روابط برای دریاچه‌های سالونی هم‌عرض کانال و نیز دریاچه با تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی ارائه می‌شود. در این تحقیق از نتایج آزمایشات انجام شده توسط یوسفوند (۱۳۹۳)، بر روی دریاچه‌های سالونی هم‌عرض کانال و دریاچه با تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی در شرایط جریان مستغرق استفاده شد. مدل آزمایشگاهی دریاچه سالونی در موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو طراحی و ساخته شد و مورد آزمون قرار گرفت.

$$Q = 2.215 \times b_g \times \sqrt{(y_1^2 - y_2^2) \times \left(\frac{1}{y_2} - \frac{1}{y_1}\right)^{-1}} \quad (1)$$

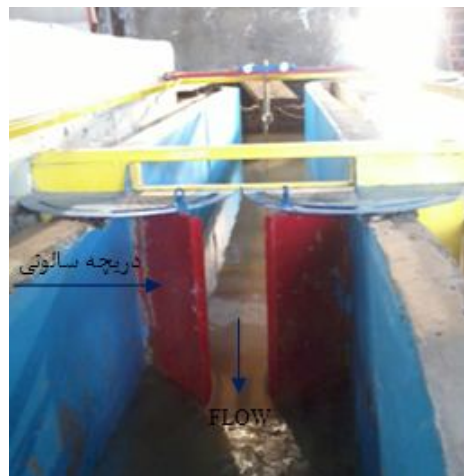
در این رابطه Q دبی جریان، b_g عرض بازشدگی دریاچه و y_1 و y_2 به ترتیب عمق آب در بالادست و پایاب دریاچه می‌باشند. عرض دریاچه ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۶۰ سانتی‌متر است. فاصله‌ی دریاچه-ی سالونی از ابتدای کانال، در تمامی آزمایشات ثابت و برابر با ۶/۲۵ متر است. برای تنظیم درجه استغراق دریاچه سالونی، یک دریاچه کشویی به ابعاد ۱×۲ متر ساخته و در انتهای کانال نصب شد. آزمایشات در ۵ زاویه بازشدگی ۴۵، ۵۲/۵، ۶۰، ۶۷/۵ و ۷۰ درجه، ۳



(ب)



(الف)



(ج)

شکل ۳- دریچه سالونی (الف) با تبدیل ناگهانی (ب) با تبدیل تدریجی (ج) هم عرض کانال (یوسفوند، ۱۳۹۳)

ضریب k تابعی از چند متغیر به صورت رابطه ۷ می باشد:

$$k = f_1(y_1, y_2, B_g, b_g, g, \rho, \mu, \theta) \quad (7)$$

آنالیز ابعادی نشان می دهد که ضریب k ، تابعی از نسبت عرض دریچه به عمق آب بالادست دریچه B_g/y_1 ، عرض بازشدگی دریچه به عمق آب بالادست b_g/y_1 ، درجه استغراق دریچه y_2/y_1 ، زاویه بازشدگی دریچه θ و عدد رینولدز جریان $(Re_1 = (y_1 \sqrt{gy_1})/\nu)$ است.

$$k = f_2\left(\frac{y_2}{y_1}, \frac{B_g}{y_1}, \frac{b_g}{y_1}, \theta, \frac{y_1 \sqrt{gy_1}}{\nu}\right) \quad (8)$$

از طرفی می توان گفت:

رابطه ۳، رابطه تحلیلی ضریب دبی دریچه سالونی می باشد که در آن نسبت استغراق دریچه نامیده می شود. به جهت صرف نظر نمودن از اتلاف انرژی دریچه سالونی، ضریب دبی نظری دریچه با ضریب اندازه گیری تفاوت خواهد داشت:

$$(C_d)' = k \times C_d \quad (5)$$

که مقدار ضریب K با رسم مقادیر اندازه گیری شده ضریب دبی در آزمایشگاه $(C_d)'$ ، در مقابل مقادیر نظری C_d در شرایط متناظر نسبت استغراق و نسبت بازشدگی دریچه بدست می آید. در نهایت رابطه ۶ جهت محاسبه ضریب دبی دریچه سالونی در شرایط جریان مستغرق، پیشنهاد می شود:

$$(C_d)' = 0.5 \times k \times S \sqrt{\frac{1+S}{S}} \quad (6)$$

استغراق و نسبت بازشدگی دریاچه براساس نتایج آزمایشگاهی، رابطه ضریب k برای دریاچه سالونی هم‌عرض کانال، دریاچه با تبدیل ناگهانی و دریاچه با تبدیل تدریجی، به ترتیب به صورت روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ارائه می‌شود:

$$k = 5.554 \times (0.032)^S \times \left(\frac{b_g}{B_g}\right)^{-0.35} \quad (10)$$

$$k = 5.999 \times (0.033)^S \times \left(\frac{b_g}{B_g}\right)^{-0.381} \quad (11)$$

$$k = 7.791 \times (0.029)^S \times \left(\frac{b_g}{B_g}\right)^{-0.237} \quad (12)$$

در این روابط S نسبت استغراق و b_g/B_g نسبت بازشدگی دریاچه می‌باشد. با جای‌گذاری روابط حاصل در رابطه ۶ معادله‌ای جهت توصیف ضریب دبی دریاچه سالونی در شرایط جریان مستغرق حاصل می‌گردد که ضریب دبی دریاچه سالونی را به عنوان تابعی از نسبت بازشدگی و استغراق نسبی دریاچه بدست می‌دهد. شکل ۶ خطای نسبی رابطه تحلیلی ضریب دبی (با کاربرد روابط ارائه شده برای ضریب k)، برای دریاچه سالونی هم‌عرض کانال و نیز دریاچه با تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی در بالادست را نشان می‌دهد. رابطه تحلیلی پیشنهادی (رابطه ۶)، مقدار ضریب دبی را با حداکثر خطای کم‌تر از ۱۰٪ نسبت به نتایج آزمایشگاهی برآورد می‌کند. این موضوع دلالت بر کارایی رابطه پیشنهادی برای تعیین ضریب دبی جریان دریاچه شالونی در شرایط مستغرق دارد.

$$\frac{b_g}{y_1} \times \frac{1}{\frac{B_g}{y_1}} = \frac{b_g}{B_g}$$

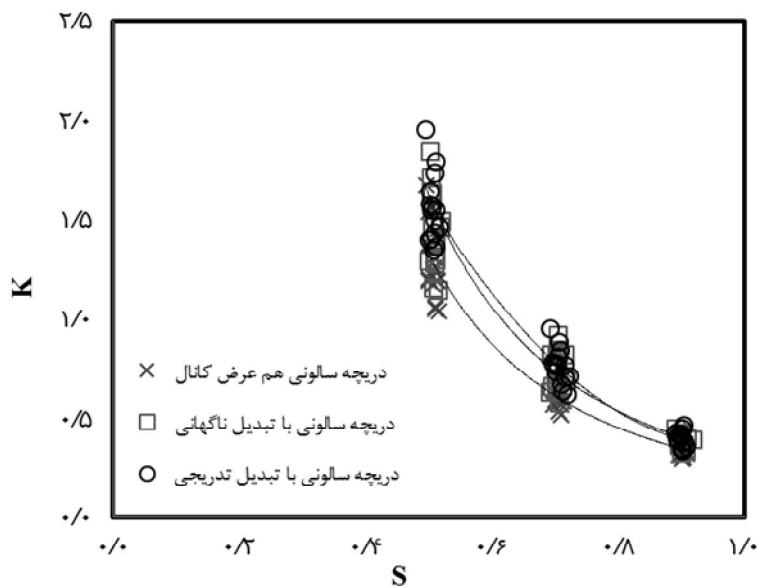
که b_g/B_g نسبت بازشدگی دریاچه است. در نهایت باتوجه به وابسته بودن دو پارامتر θ و b_g/B_g می‌توان گفت:

$$k = f_2\left(\frac{y_2}{y_1}, \frac{b_g}{B_g}, Re_1\right) \quad (9)$$

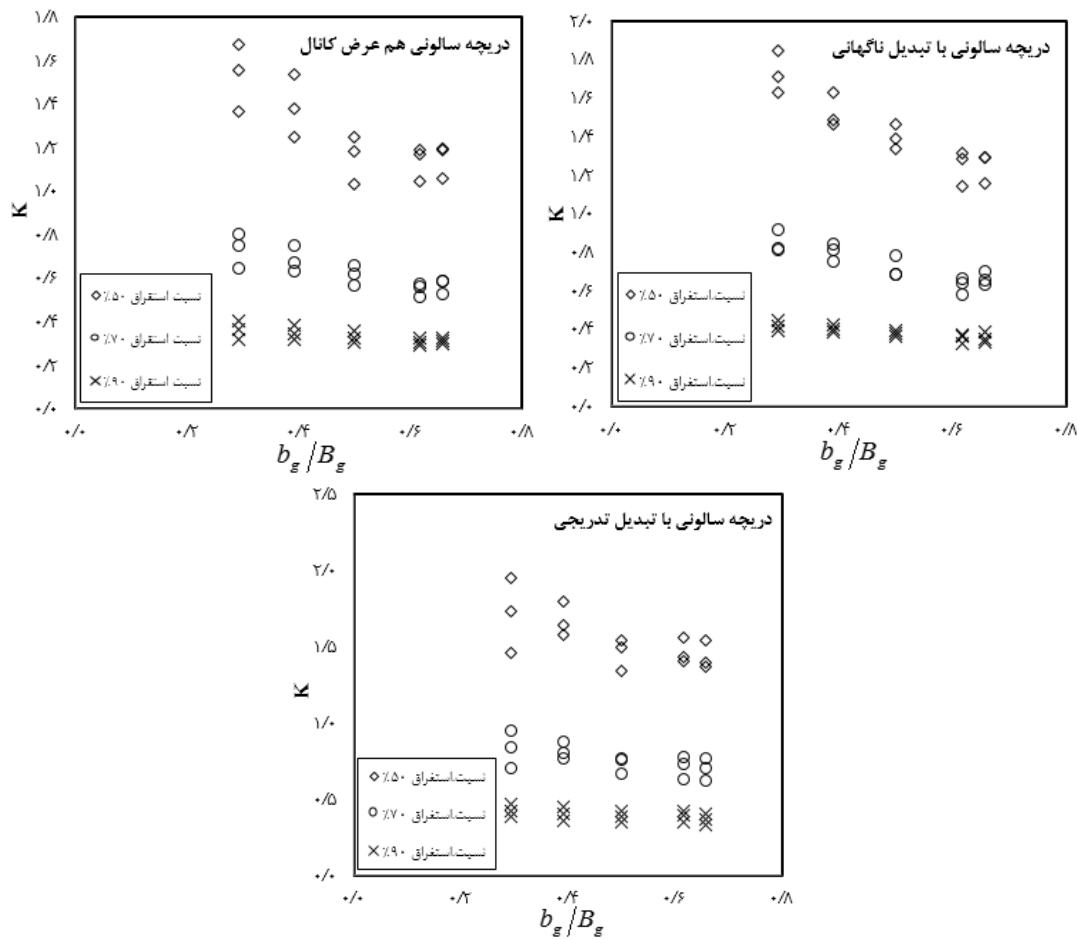
عدد رینولدز جریان بیان‌کننده تأثیر نیروهای لزجت می‌باشد و در زوایای بزرگ بازشدگی که عمق آب در بالادست دریاچه کاهش می‌یابد تأثیر تعیین‌کننده‌ای ندارد. باتوجه به انجام آزمایشات در محدوده-ی جریان متلاطم، و برای زوایای بازشدگی ۴۵ تا ۷۰ درجه، تأثیر عدد رینولدز بر ضریب k ناچیز است. بنابراین مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر ضریب k ، دو پارامتر بدون بعد y_2/y_1 و b_g/B_g می‌باشد. با افزایش نسبت استغراق دریاچه به دلیل کاهش جریان ثانویه، هد بالادست دریاچه افزایش یافته و در نتیجه هد سرعت کاهش می‌یابد که منجر به کاهش ضریب k و در نتیجه کاهش ضریب دبی می‌شود (شکل ۴). شکل ۵ نیز رابطه ضریب k با نسبت بازشدگی دریاچه را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در نسبت‌های استغراق ۰/۵ و ۰/۷، k با نسبت بازشدگی دریاچه، ابتدا به صورت کاهشی و سپس افزایشی تغییر می‌کند، در حالی که در نسبت استغراق ۰/۹، این رابطه تقریباً خطی است.

برآورد معادلات ضریب k

با رگرسیون‌گیری از ضریب k برحسب پارامترهای بدون بعد نسبت



شکل ۵- رابطه ضریب k با نسبت استغراق دریاچه (S) برای دریاچه با تبدیل و بدون تبدیل



شکل ۵- رابطه ضریب k با نسبت بازشدگی (b_g / B_g) برای دریچه با تبدیل و بدون تبدیل

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_{measured} - x_{calculated})^2}{N}} \quad (14)$$

$$RE = \frac{x_{measured} - x_{calculated}}{x_{measured}} \times 100 \quad (15)$$

در این روابط، $x_{measured}$ مقدار اندازه‌گیری شده و $x_{calculated}$ مقدار محاسبه شده است. جدول ۲ پارامترهای آماری فوق را به ازای کاربرد روابط ضریب دبی بدست می‌دهد.

جدول ۲- جذر میانگین مربعات خطا و میانگین خطای نسبی معادلات تحلیلی ضریب دبی

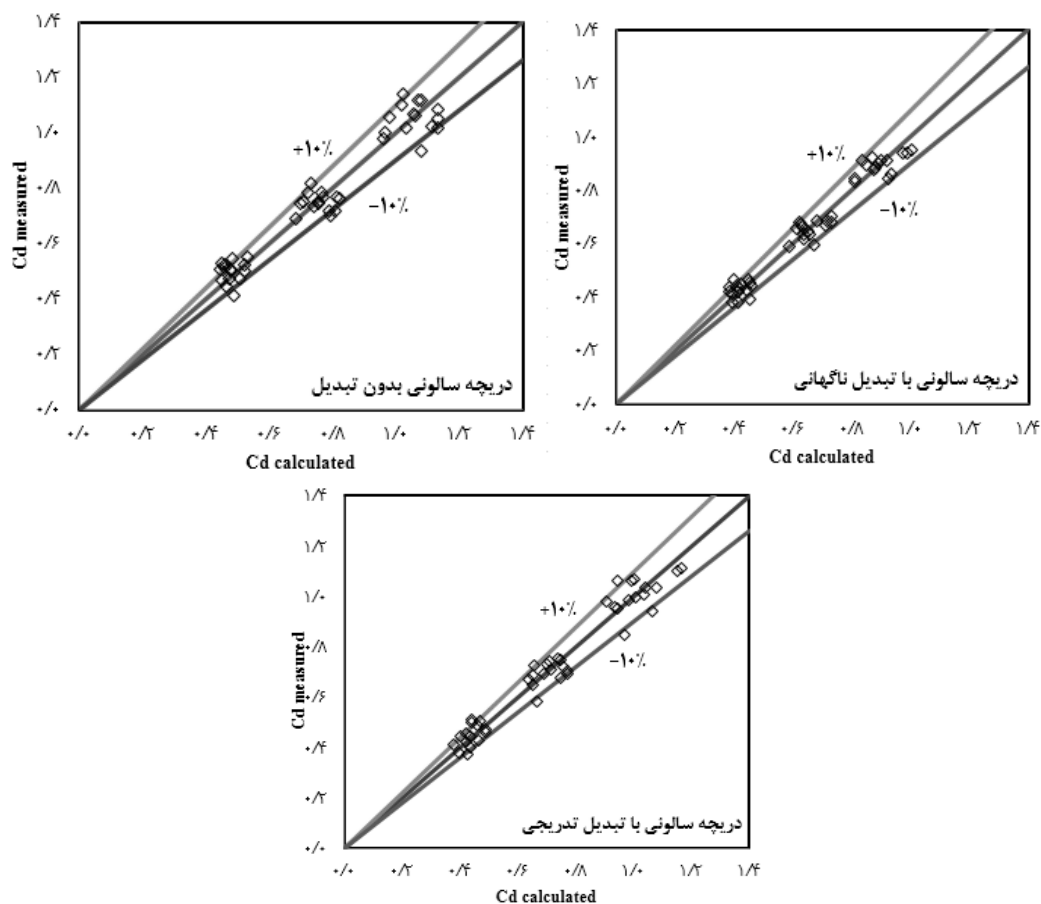
وضعیت استقرار دریچه	RMSE	MAPE (%)	RE (%)
دریچه هم‌عرض کانال	۰/۰۵۹	۶/۳۷۹	±۱۰
دریچه با تبدیل ناگهانی	۰/۰۳۹	۵/۱۰۸	±۱۰
دریچه با تبدیل تدریجی	۰/۰۵۲	۶/۱۷۲	±۱۰

در مطالعه‌ای دیگر صحت رابطه پیشنهادی در برآورد ضریب دبی در شرایط جریان مستغرق بر اساس نتایج آزمایشگاهی در شکل ۷ بررسی شده است. مشاهده می‌گردد رابطه پیشنهادی تخمین ضریب دبی، در مقایسه با سایر روابط پیشنهادی (رابطه پیشنهادی (آکواسیستم، ۱۳۹۲)، (یوسفوند، ۱۳۹۳)) از کارایی بیشتری برخوردار است و در مقایسه با آن‌ها نتایج دقیق‌تری از ضریب دبی جریان در شرایط مستغرق به‌دست می‌دهد.

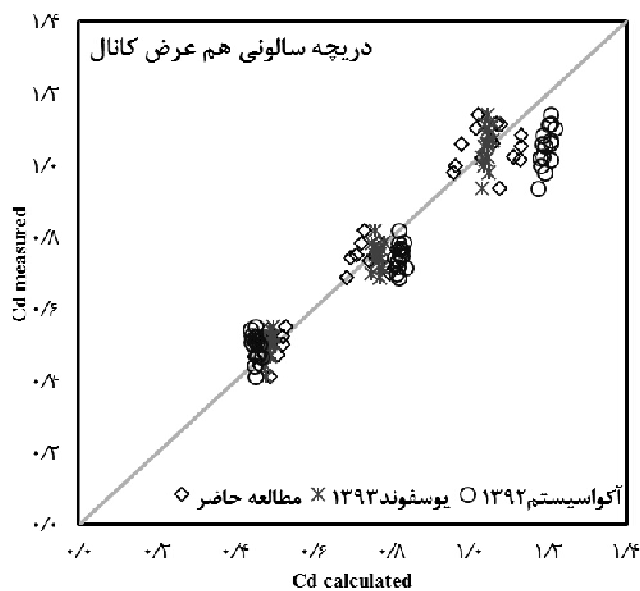
به‌منظور ارزیابی معادله ضریب دبی جریان مستغرق در هر حالت، از پارامترهای مختلف آماری به‌قرار جذر میانگین مربعات خطا^۱ RMSE، میانگین خطای نسبی^۲ MAPE و خطای نسبی^۳ RE به ترتیب مطابق روابط ۱۳ تا ۱۵، استفاده شد.

$$MAPE = \frac{\sum \left| 1 - \frac{x_{calculated}}{x_{measured}} \right|}{N} \times 100 \quad (13)$$

- 1- Root Mean Square Error
- 2- Mean Absolute Percentage Error
- 3- Relative Error



شکل ۶- خطای نسبی ضریب دبی اندازه‌گیری شده و محاسبه شده از رابطه نظری پیشنهادی



شکل ۷- ضریب دبی محاسبه شده از فرمول پیشنهادی آکواسیستم (۱۳۹۲)، یوسفوند (۱۳۹۳) و مطالعه حاضر، در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی

نتیجه گیری

در این تحقیق بر اساس معادله دبی دریچه سالونی، رابطه‌ای نظری جهت توصیف ضریب دبی در شرایط جریان مستغرق ارائه گردید. ضریب دبی در این شرایط تابعی از استغراق نسبی و نسبت بازشدگی دریچه است. چنانچه نسبت ضریب دبی آزمایشگاهی به ضریب دبی نظری را با k نشان دهیم، در زاویه بازشدگی ثابت، افزایش استغراق نسبی دریچه، منجر به کاهش ضریب k و در نتیجه کاهش ضریب دبی جریان می‌شود. هم‌چنین مشاهده شد، در نسبت‌های استغراق $0/5$ و $0/7$ ، k با نسبت بازشدگی دریچه، ابتدا به صورت کاهشی و سپس افزایشی تغییر می‌کند، در حالی که در نسبت استغراق $0/9$ ، این رابطه به تقریب خطی است. در شرایط جریان مستغرق، رابطه مذکور به عنوان نخستین رابطه تحلیلی، ضریب دبی را با حداکثر خطای 10% پیش بینی می‌کند که با بهره‌گیری از نتایج آزمایشگاهی این رابطه به منظور افزایش دقت، برای حالت‌های مختلف بهره‌برداری (دریچه هم‌عرض کانال و نیز دریچه با تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی) واسنجی گردید.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از حمایت‌ها و همکاری موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، به ویژه پژوهشکده مهندسی هیدرولیک و محیط‌های آبی، جناب آقای دکتر عباس اکبرزاده، مهندس علی خراسانی زاده و مهندس رضا روشن قدردانی می‌شود.

منابع

اسدی، م.، کوچک زاده، ص و ستوده نیا، ع. ۱۳۹۰. راهنمای اندازه‌گیری جریان آب. تهران: کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

حسین‌زاده، ز و منعم، م. ج. ۱۳۹۱. توسعه و آزمون مدل ریاضی سرریز لولایی خودکار با منطق PID. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. بهار: ۸۷-۹۴.

صادقی، س و منعم، م. ج. ۱۳۹۴. مقایسه دریچه سالونی و دریچه کشویی در کانال‌های آبیاری تحت شرایط آزمون‌های استاندارد ASCE. نخستین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۲۳ و ۲۴ اردیبهشت ماه، دانشگاه فردوسی مشهد.

نقائی، ر و منعم، م. ج. ۱۳۹۲. معرفی دریچه سالونی جهت تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری و ارائه روابط هیدرولیکی آن. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. ۶ تا ۸ اسفندماه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

نقائی، ر و منعم، م. ج. ۱۳۹۲. معرفی شرایط مختلف هیدرولیکی و بهره‌برداری دریچه سالونی در کانال‌های آبیاری. اولین همایش ملی آبیاری و بهره‌وری آب. ۱۰ بهمن، دانشگاه فردوسی مشهد.

یوسفوند، ف و منعم، م. ج. ۱۳۹۳. استخراج معادله دبی دریچه سالونی به‌عنوان سازه نوین آب‌بند با فشردگی جانبی با استفاده از رابطه انرژی در شرایط جریان آزاد. دومین همایش ملی مدیریت آب در مزروع. ۲۹ مهر ماه، موسسه تحقیقات خاک و آب کرج.

یوسفوند، ف و منعم، م. ج. ۱۳۹۳. معرفی دریچه سالونی و استخراج رابطه هیدرولیکی دبی در شرایط جریان آزاد. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. ۲۱ تا ۲۲ آبان ماه، دانشگاه تبریز.

یوسفوند، ف. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شرایط هیدرولیکی و بهره‌برداری بر عملکرد دریچه‌های سالونی. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس. ص ۸۹

Aqua Systems 2000 Incorporation (AS2I). 2013. Leaders in Water Management and Control, Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates/hydra-lopac-gate> [10september2013].

Langeman, p., Craig, k., Elser, p and Allen, L. 2006. Irrigation Gate System. US Patent 7,114,878 B2.

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.

Experimental and Theoretical Analysis of Discharge Coefficient for Submerged Lopac Gate

F. Yousofvand¹, M.J. Monem^{2*}, and M.R. Kavianpour³

Received: Aug.19, 2015

Accepted: Dec.30, 2015

Abstract

Estimation of discharge coefficient for lopac gates plays an important role in determining the discharge of such structure, as a flow control and regulation structure. The present research provides semi-analytical equations to estimate the discharge coefficient for submerged lopac gates for different conditions. The results indicate that the discharge coefficient depends on gate opening and submergence ratios. Theoretical equations for estimating the discharge coefficient were calibrated with experimental information for the conditions of without transition and with gradual and sudden transitions. The results show that the discharge coefficient of lopac gates with transition is less than that of without transition. The proposed equations for the discharge coefficient have maximum of 10% error. Comparing the results of theoretical equations with previous investigation also demonstrates the efficiency of present equations for estimating the discharge coefficient of submerged lopac gates.

Keywords: Discharge Coefficient, Irrigation canal, Lopac Gate, Submerged Flow, Transition.

1- M.Sc Graduated of Hydraulic Structures, Faculty of Agriculture, TarbiatModares 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.

(* - Corresponding Author Email: Monem_mj@modares.ac.ir)