

## بررسی تاثیر تبدیل ناگهانی کانال بر ضریب دبی دریاچه سالونی-بیضوی در شرایط جریان مستغرق

سید محسن سجادی<sup>۱\*</sup>، هومن خبیر<sup>۲</sup>، جواد احدیان<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۹/۱۲

### چکیده

یکی از سازه‌های نوین تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری، دریاچه‌های سالونی است که دارای مزایای متعددی از جمله روگذر بودن جریان و عدم تجمع رسوبات می‌باشد. دریاچه سالونی-بیضوی نوع جدیدی از دریاچه‌های سالونی است که با هدف ضریب دبی بالاتری نسبت به دریاچه سالونی مستطیلی و همچنین عبوردهی راحت تر اجسام شناور در جریان معرفی شده است. در تحقیق حاضر تاثیر تبدیل ناگهانی بر مقدار ضریب دبی دریاچه سالونی-بیضوی در شرایط جریان مستغرق به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بیانگر آن است که ضریب دبی دریاچه سالونی بیضوی با تبدیل ناگهانی در حدود ۱۴ تا ۷۳٪ نسبت به شرایط هم عرض کانال کاهش می‌یابد. همچنین ضریب دبی با عدد فرود و زاویه بازشدگی دریاچه رابطه مستقیم و با میزان تنگ شدگی کانال ناشی از تبدیل و استغراق دریاچه رابطه عکس دارد. در پایان روابط آماری جهت برآورد ضریب دبی دریاچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق با حداکثر خطای  $\pm 5$  و  $\pm 15$ ٪ ارائه گردید.

**واژه‌های کلیدی:** دریاچه سالونی-بیضوی، ضریب دبی، تبدیل ناگهانی، عدد فرود، زاویه بازشدگی

### مقدمه

سالونی است. این سازه دارای طرح درهای سالونی بوده که به صورت دو لنگه در به دیواره مستطیلی در امتداد کانال لولا می‌شود. دریاچه در امتداد جریان باز شده و با تغییر باز شدگی، امکان تنظیم ارتفاع آب برای دبی‌های متفاوت در بالادست دریاچه فراهم می‌شود (Oad and Kinzli, 2006). دلیل توسعه دریاچه‌های سالونی، سهولت در بهره‌برداری، سادگی طراحی، امکان عبور اجسام شناور و رسوبات به طور همزمان و قابلیت خودکارشدن آسان می‌باشد. سازه دریاچه سالونی-بیضوی نوع جدیدی از دریاچه‌های سالونی است که هدف اصلی آن در خصوص تخلیه آب از دریاچه، با ضریب دبی بالاتر از حالت مستطیلی و همچنین عبوردهی راحت تر اجسام شناور می‌باشد، بطوری که آسیبی به بدنه دریاچه وارد نمی‌گردد.

دریاچه سالونی<sup>۴</sup> در دهه ی ۱۹۸۰ توسط پیتر لانگمن و همکاران، جهت مدیریت نوسانات سطح آب در کانال‌های آبیاری ابداع شد و تاکنون تعدادی از کاربرد موفقیت آمیز آن از جمله استفاده در پروژه Middle Rio Grand در نیومکزیکو در سال ۲۰۰۶ گزارش شده است. در این پروژه، سازه‌های آب بند مرسوم، توسط دریاچه‌های سالونی جایگزین شدند (Langemann et al., 2006).

عملکرد ضعیف شبکه‌های آبیاری و تأثیر آن در کاهش بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، ضرورت ارائه روش‌های مؤثر در بهره‌برداری مناسب از شبکه‌های آبیاری را ایجاد کرده است (Gomez, Rodellar & Matencon, 2002). یکی از روش‌های پیشنهادی پژوهشگران بهبود روش‌های توزیع و تحویل آب می‌باشد که باعث ارتقاء سیستم‌های کنترل و تنظیم در شبکه‌های آبیاری می‌گردد (Malaterre, Rogers & Schuurmans, 1998). از ضروری‌ترین اقدامات لازم در به‌سازی شبکه‌ها تجهیز آنها با سازه‌های کنترل و تنظیم آب کارا و قابل اطمینان است. محققین همواره تلاش دارند سازه‌هایی با کارایی بالاتر، بهره‌برداری راحت تر و رفتار هیدرولیکی مناسب تر ابداع نمایند (نقائی، ۱۳۹۳). یکی از سازه‌های تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری که اخیراً مورد توجه قرار گرفته، دریاچه

۱- استادیار گروه سازه های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز  
۲- کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی، گروه سازه های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشیار گروه سازه های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز  
\* - نویسنده مسئول : (Email : sajjadi.mohsen@gmail.com)

و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، معادله‌ای صریح برای محاسبه ضریب دبی دریاچه‌های سالونی مستطیلی در شرایط جریان مستغرق ارائه نمودند. همچنین نتایج نشان داد که ضریب دبی تا زاویه ۵۲/۵ درجه (نسبت بازشدگی ۰/۳۹) روند صعودی داشته و پس از آن کاهش می‌یابد. در تحقیقی دیگر، یوسفوند و همکاران (۱۳۹۷) رابطه دبی-اشل دریاچه سالونی مستطیلی هم عرض کانال و همراه با تبدیل‌های ناگهانی و تدریجی را در شرایط جریان آزاد و مستغرق مورد مطالعه قرار داده و با توجه به نتایج، روابطی صریح برای دبی-اشل ارائه نمودند. پیل بالا (۱۳۹۷) به ارزیابی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان عبوری از دریاچه سالونی-بیضوی و مقایسه عملکرد آن با مدل مستطیلی در شرایط جریان مستغرق پرداخت. آزمایشات در حالت ۳ دبی متفاوت، ۵ زاویه مختلف و ۳ نسبت استغراق صورت گرفت و در نهایت روابطی برای محاسبه دبی، ضریب دبی و افت انرژی دریاچه در شرایط جریان مستغرق برای هردو مدل بیضوی و مستطیلی پیشنهاد گردید. در شکل (۱) نمایی از یک دریاچه سالونی نشان داده شده است. یوسفوند و همکاران (۱۳۹۸) آستانه استغراق دریاچه سالونی مستطیلی در زوایای مختلف بازشدگی را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور دریاچه سالونی در شرایط مختلف هیدرولیکی به ازای مقادیر مختلف زاویه و دبی جریان، در آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت رابطه ای برای آستانه استغراق دریاچه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی در دو دبی ۰/۲۵ و ۰/۳۵ متر مکعب بر ثانیه و بر مبنای پارامترهای بی بعد موثر بر سازه استنتاج شد.

Aqua System 2000 Inc. (AS2I) به منظور ارائه‌ی یک راه حل انعطاف‌پذیر و اقتصادی، برای کنترل جریان در کانال‌های کوچک و متوسط، مدل سازه‌ی دریاچه‌ی سالونی را با یک سیستم محرک هیدرولیکی ترکیب کرد. نقائی و منعم (۱۳۹۲)، با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط AS2I، رابطه دبی-اشل را برای دریاچه‌های سالونی مستطیلی با عرض‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۸ فوت و به ترتیب با بازشدگی ۲/۷، ۳/۶، ۴/۵، ۵/۴ و ۷/۳ فوت و نیز زاویه بازشدگی ۷۰ درجه ارائه کردند. یوسفوند و منعم (۱۳۹۳)، ضمن معرفی دریاچه‌های سالونی مستطیلی، رابطه دبی دریاچه‌های سالونی مستطیلی هم عرض کانال در شرایط جریان آزاد را ارائه نمودند. صادقی و منعم (۱۳۹۴)، به بررسی و مقایسه عملکرد دریاچه سالونی مستطیلی و دریاچه کشویی در کانال آبیاری، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS پرداختند. یوسفوند و کاویانپور (۱۳۹۴) روابط دبی اشل دریاچه سالونی مستطیلی با فشردگی جانبی را به عنوان سازه نوین درون مزرعه ای در حالت جریان آزاد بررسی کردند در مجموع ۳۰ آزمایش به این نتیجه رسیدند که معادلات ارائه شده برای دبی اشل دریاچه سالونی با فشردگی جانبی دارای دقت مطلوبی در برآورد دبی این سازه است. ضریب دبی با تبدیل ناگهانی کمتر از ضریب دبی با تبدیل تدریجی دریاچه بود. بابایی فقیه محله و همکاران (۱۳۹۷) از سازه دریاچه سالونی-پارشال فلوم استفاده نموده و نتایج آنها نشان می‌دهد که بازشدگی کم دریاچه موجب افزایش عمق بالادست و افت انرژی نسبی می‌شود. همچنین استغراق بالای ۸۰ درصد بر منحنی دبی-اشل تاثیر می‌گذارد. یوسفوند



شکل ۱- نمای بالادست یک دریاچه سالونی (Aqua Systems 2000)

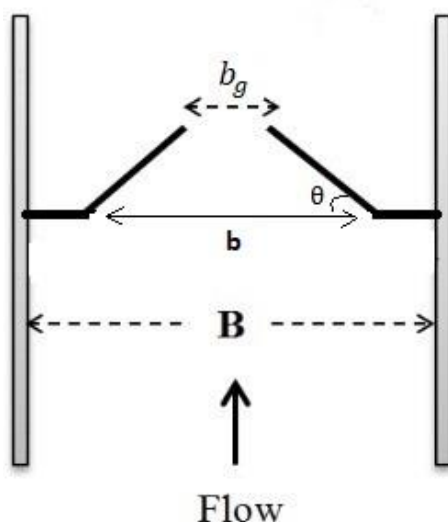
نظیر تأثیر تبدیل‌های ناگهانی، زاویه بازشدگی دریاچه و نسبت استغراق می‌باشند.

در این پژوهش، تأثیر تبدیل ناگهانی بر ضریب دبی دریاچه سالونی-بیضوی در شرایط جریان مستغرق مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به نتایج آزمایشگاهی، روابطی برای محاسبه ضریب دبی ارائه شده است. این روابط بی بعد بوده و شامل مجموعه پارامترهای مؤثر

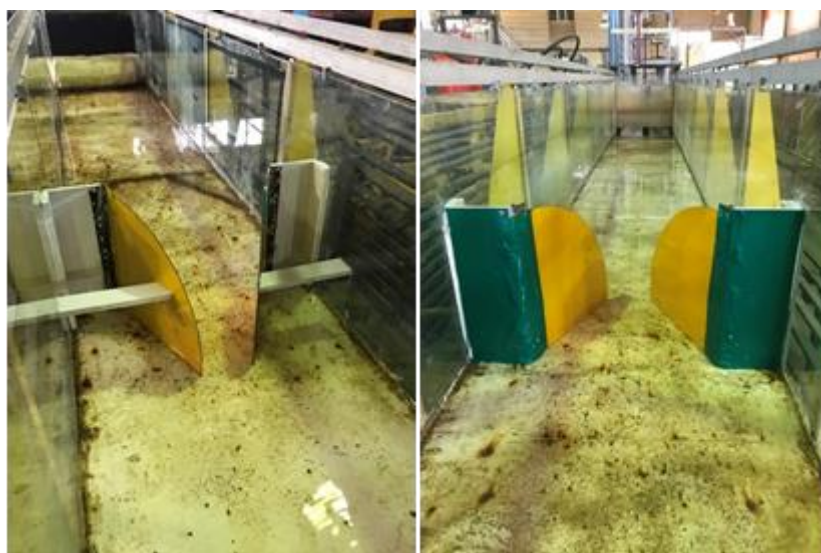
## مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز در فلومی با مشخصات طول ۱۰ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۸ صورت گرفت. در مدل دريچه سالونی-بیضوی مورد استفاده، دریچه‌ها از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر و به عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و شعاع ۳۵ سانتی‌متر تهیه شدند. در ابتدای فلوم یک سبد پر از پوک‌های معدنی و یک فوم شناور برای آرام کردن جریان نصب گردید. در هر طرف دریچه ورق‌هایی از

جنس PVC به عرض‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر (مجموعاً ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر عرض هر تبدیل)، ضخامت ۱/۶ میلی‌متر و ارتفاع مشابه ۴۲ سانتی‌متر قرار داده شد. در شکل (۲) پلان دریچه سالونی بیضوی با تبدیل ناگهانی نشان داده شده است که در این شکل B عرض کانال، bg عرض بازشدگی، b عرض دریچه و  $\theta$  زاویه بازشدگی دریچه می‌باشد. در شکل (۳) نیز، نمایی از مدل آزمایشگاهی مشاهده می‌شود.



شکل ۲- پلان دریچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی



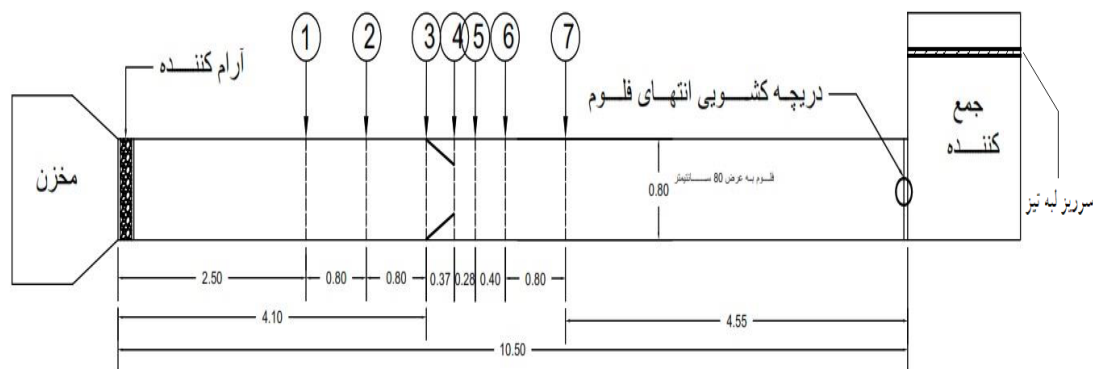
شکل ۳- نمایی از مدل دریچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی

استغراق ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد مورد بررسی قرار گرفت و لذا در مجموع ۸۱ آزمایش انجام گردید. دبی جریان به کمک یک سرریز لبه تیز مستطیلی نصب شده درون مخزن جمع کننده در انتهای فلوم،

آزمایش‌ها برای ۳ زاویه ی بازشدگی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه و ۳ حالت تبدیل ناگهانی ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر انجام گرفت. دبی‌ها در این پژوهش ۳ دبی ۲۵، ۳۵ و ۴۵ لیتر بر ثانیه بوده و در سه درصد

می‌شود. نسبت میانگین عمق پایین دست به میانگین عمق بالادست دریاچه باید برابر با درصد استغراق موردنظر باشد تا آن استغراق حاصل گردد. برای اندازه‌گیری عمق جریان آب نیز از عمق‌سنجی با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده گردید.

اندازه‌گیری شد. به منظور ایجاد استغراق، از یک دریاچه کشویی که در انتهای فلوم نصب شده است، استفاده گردید. برای رسیدن به استغراق موردنظر با بستن دریاچه کشویی جریان از حالت جریان آزاد با ایجاد آب برگشتی و حرکت آن به سمت بالادست به جریان مستغرق تبدیل



شکل ۴- پلان فلوم آزمایشگاهی (ابعاد به متر)

## نتایج و بحث

### بررسی تاثیر فشردگی ناگهانی ( $b/B$ ) بر ضریب دبی

پارامتر  $b/B$  نشان دهنده نسبت عرض دریاچه به عرض کانال می‌باشد که بیانگر اثر تبدیل ناگهانی است. در حالت هم عرض کانال مقدار این پارامتر برابر با یک بوده و در تبدیل‌های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر مقدار آن به ترتیب برابر با ۰/۸۷۵، ۰/۷۵ و ۰/۶۲۵ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که هرچه فشردگی جانبی بیشتر گردد، مقدار ضریب دبی کوچکتر می‌گردد و در شرایط متفاوت زاویه بازشدگی و استغراق، از حداقل ۱۴٪ تا حداکثر ۷۳٪ کاهش ضریب دبی مشاهده گردید. شکل (۵) به عنوان نمونه، تغییرات ضریب دبی در مقابل تبدیل ناگهانی را برای استغراق‌های متفاوت تحت زاویه بازشدگی ۲۵ درجه نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش استغراق، ضریب دبی  $C_d$  کاهش یافته است. در مجموع با ۴۰٪ فشردگی (ضریب تبدیل ۰/۶۲۵)، ضریب دبی به طور متوسط ۶۴/۷٪ کاهش می‌یابد.

### بررسی تاثیر زاویه بازشدگی ( $b_g/b$ ) بر ضریب دبی

پارامتر  $b_g/b$  نشان دهنده نسبت عرض زاویه بازشدگی به عرض دریاچه می‌باشد و بیانگر اثر زاویه است. مقدار این پارامتر برای زوایای ۱۵، ۲۰ و ۳۰ درجه با توجه به تبدیل‌های مختلف، متفاوت خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که هرچه این پارامتر کوچک تر گردد (زاویه تنگ تر شود)، مقدار ضریب دبی کوچکتر می‌گردد و در شرایط

## آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر بر ضریب دبی دریاچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق به صورت معادله (۱) خواهد بود:

$$f(Q, Y_t, Y_u, b_g, b, B, \mu, \rho, g) \quad (1)$$

عمق آب در بالادست دریاچه،  $Y_t$  عمق آب در پایین دست دریاچه،  $B$  عرض کانال،  $b$  عرض دریاچه،  $b_g$  میزان عرض بازشدگی تحت تاثیر زاویه،  $Q$  دبی جریان،  $\rho$  جرم مخصوص،  $\mu$  لزجت دینامیکی سیال و  $g$  شتاب جاذبه است.

با استفاده از تئوری باکینگهام، در نهایت رابطه (۲) حاصل می‌شود:

$$C_d = f\left(\frac{Y_t}{Y_u}, \frac{b_g}{Y_u}, \frac{b}{Y_u}, \frac{B}{Y_u}, Fr, Re\right) \quad (2)$$

با توجه به دامنه تغییرات عدد رینولدز ( $Re$ )، جریان کاملاً متلاطم بوده و در نتیجه می‌توان از این پارامتر در محاسبات صرف‌نظر کرد. در نهایت رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$C_d = f\left(\frac{Y_t}{Y_u}, \frac{b_g}{b}, \frac{b}{B}, Fr\right) \quad (3)$$

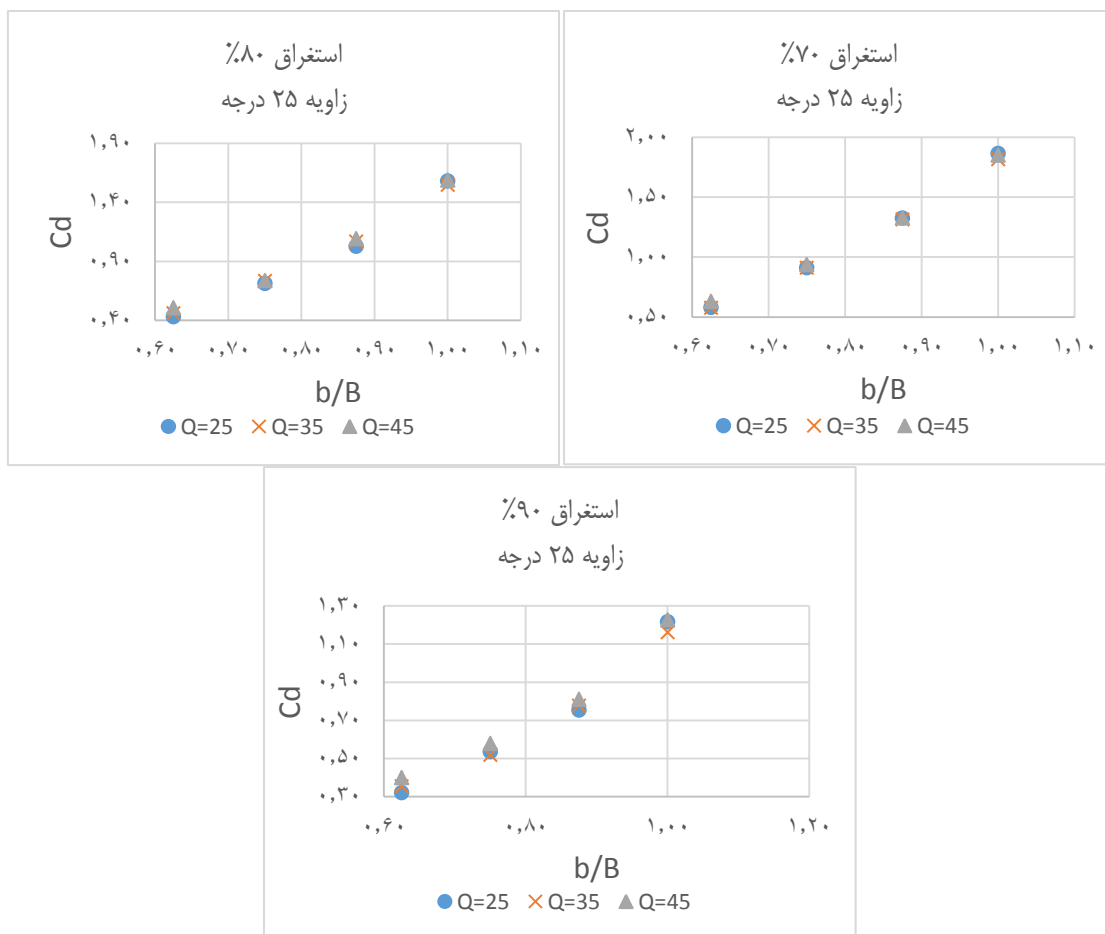
نسبت  $Y_t/Y_u$  نسبت عمق بالادست به پایین دست دریاچه (بیانگر نسبت استغراق)،  $b/B$  نسبت عرض دریاچه به عرض کانال (بیانگر اثر تبدیل ناگهانی)،  $b_g/b$  نسبت عرض بازشدگی به عرض دریاچه (بیانگر تاثیر زاویه) می‌باشد و  $Fr$  عدد فرود می‌باشد. به منظور ارزیابی معادله ضریب دبی، از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای نسبی (MAPE) و خطای نسبی (RE) استفاده گردید.

استغراق‌های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد به ترتیب برابر ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش استغراق، مقدار ضریب دبی کوچکتر می‌گردد و در شرایط متفاوت تبدیل ناگهانی و زاویه بازشدگی، از حداقل ۱۳٪ تا حداکثر ۷۴٪ کاهش ضریب دبی مشاهده گردید. شکل (۷) به عنوان نمونه، تغییرات ضریب دبی در مقابل درصد استغراق را برای زوایای متفاوت در تبدیل ۳۰ سانتی متر نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش استغراق، ضریب دبی  $C_d$  کاهش یافته است. در مجموع با حدود ۲۳٪ افزایش استغراق (در تبدیل ۳۰ سانتی‌متر)، ضریب دبی به طور متوسط ۶۵/۷٪ کاهش می‌یابد.

متفاوت تبدیل ناگهانی و استغراق، از حداقل ۱۴٪ تا حداکثر ۷۳٪ کاهش ضریب دبی مشاهده گردید. شکل (۶) به عنوان نمونه، تغییرات ضریب دبی در مقابل زاویه را برای استغراق‌های متفاوت در تبدیل ۳۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش استغراق، ضریب دبی  $C_d$  کاهش یافته است. در مجموع با حدود ۵۴٪ تنگ تر شدن زاویه (در تبدیل ۳۰ سانتی‌متر)، ضریب دبی به طور متوسط ۵۵٪ کاهش می‌یابد.

### بررسی تاثیر استغراق ( $Y_t/Y_u$ ) بر ضریب دبی

پارامتر  $Y_t/Y_u$  نشان دهنده نسبت عمق جریان پایین دست به بالادست بوده و بیانگر اثر استغراق است. مقدار این پارامتر برای



شکل ۵- نمودار تغییرات ضریب دبی و پارامتر  $b/B$  تحت زاویه ۲۵ درجه

ضریب دبی مشاهده گردید. شکل (۸) به عنوان نمونه، تغییرات ضریب دبی در مقابل عدد فرود را برای زوایا و استغراق‌های متفاوت در تبدیل ۳۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود، با افزایش استغراق، ضریب دبی  $C_d$  کاهش یافته است. همچنین با تنگ

### بررسی تاثیر عدد فرود بر ضریب دبی

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود جریان ( $Fr$ )، مقدار ضریب دبی بیشتر می‌گردد و در شرایط متفاوت تنگ شدگی جانبی، زاویه بازشدگی و استغراق، از حداقل ۱۴٪ تا حداکثر ۷۴٪ افزایش

$$5.095(Fr) \quad (۴)$$

برای رسیدن به یک رابطه کاربردی تر، از عدد فرود چشم پوشی شده و در نهایت، رابطه (۸) برای محاسبه ضریب دبی ارائه گردید:

$$C_d = 0.625 - 2.473 \left(\frac{Y_t}{Y_u}\right) + 2.009 \left(\frac{b_g}{b}\right) + 1.736 \left(\frac{b}{B}\right) \quad (۵)$$

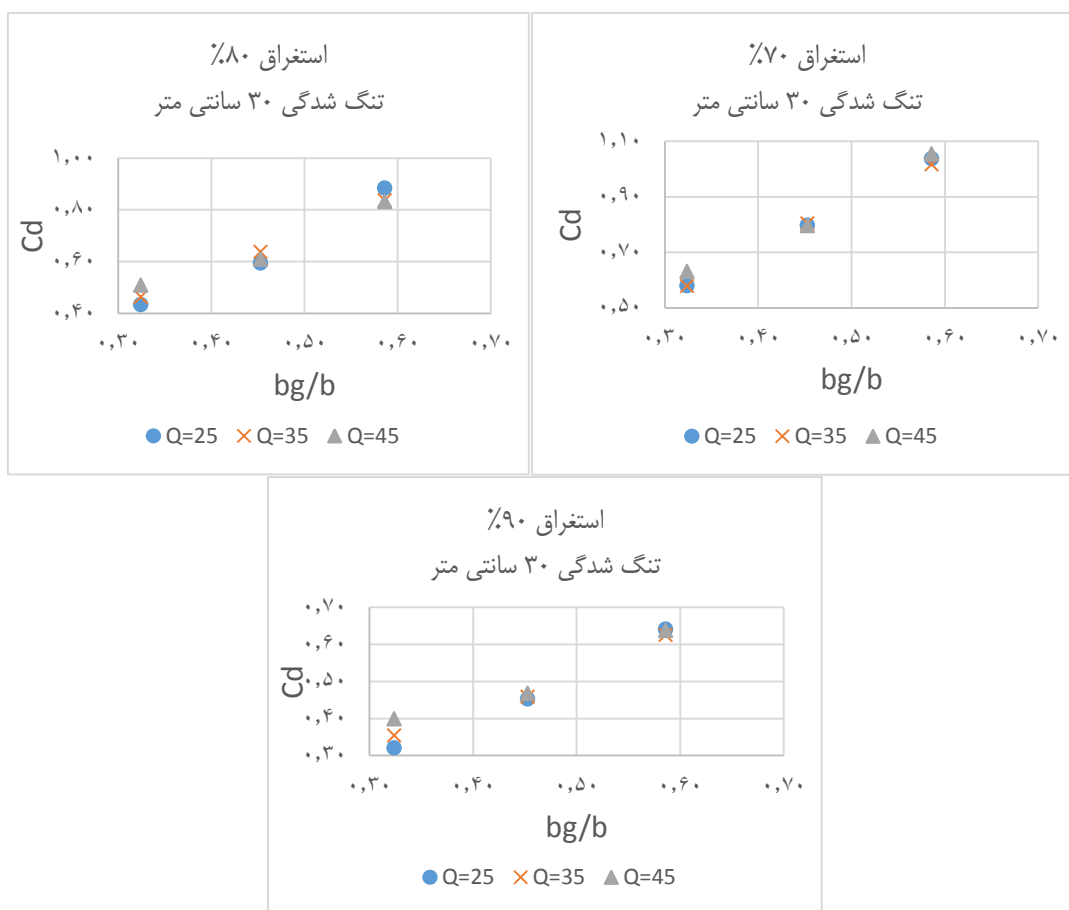
$Y_t/Y_u$  نسبت عمق بالادست به پایین دست درچه،  $b/B$  نسبت عرض درچه به عرض کانال و  $b_g/b$  نسبت عرض بازشدگی به عرض درچه می‌باشد. این روابط با ۸۰ درصد اطلاعات آزمایشگاهی استخراج گردید و با ۲۰ درصد اطلاعات صحت سنجی صورت گرفت که در جدول (۱) میزان خطای آنها نشان داده شده است:

تر شدن زاویه، مقدار ضریب دبی کمتر می‌گردد. در مجموع با حدود ۴۳٪ افزایش در عدد فرود، ضریب دبی به طور متوسط ۴۲٪ افزایش می‌یابد.

### روابط نظری ضریب دبی درچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق

جهت رسیدن به روابطی مستقل از ابعاد درچه‌ها، فلوم و سایر موارد مشابه، معادلات ضریب دبی حاصل از کمیتهای بدون بعد در حالت جریان مستغرق به دست آورده شد. با انجام رگرسیون گیری چندمتغیره بین پارامترهای موثر با توجه به معادله (۳)، در نهایت رابطه خطی (۴) برای محاسبه ضریب دبی درچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق حاصل گردید:

$$C_d = 0.8 - 1.071 \left(\frac{Y_t}{Y_u}\right) + 0.127 \left(\frac{b_g}{b}\right) + 0.044 \left(\frac{b}{B}\right) +$$



شکل ۶- نمودار تغییرات ضریب دبی و پارامتر  $b_g/b$  تحت تبدیل ۳۰ سانتی متر

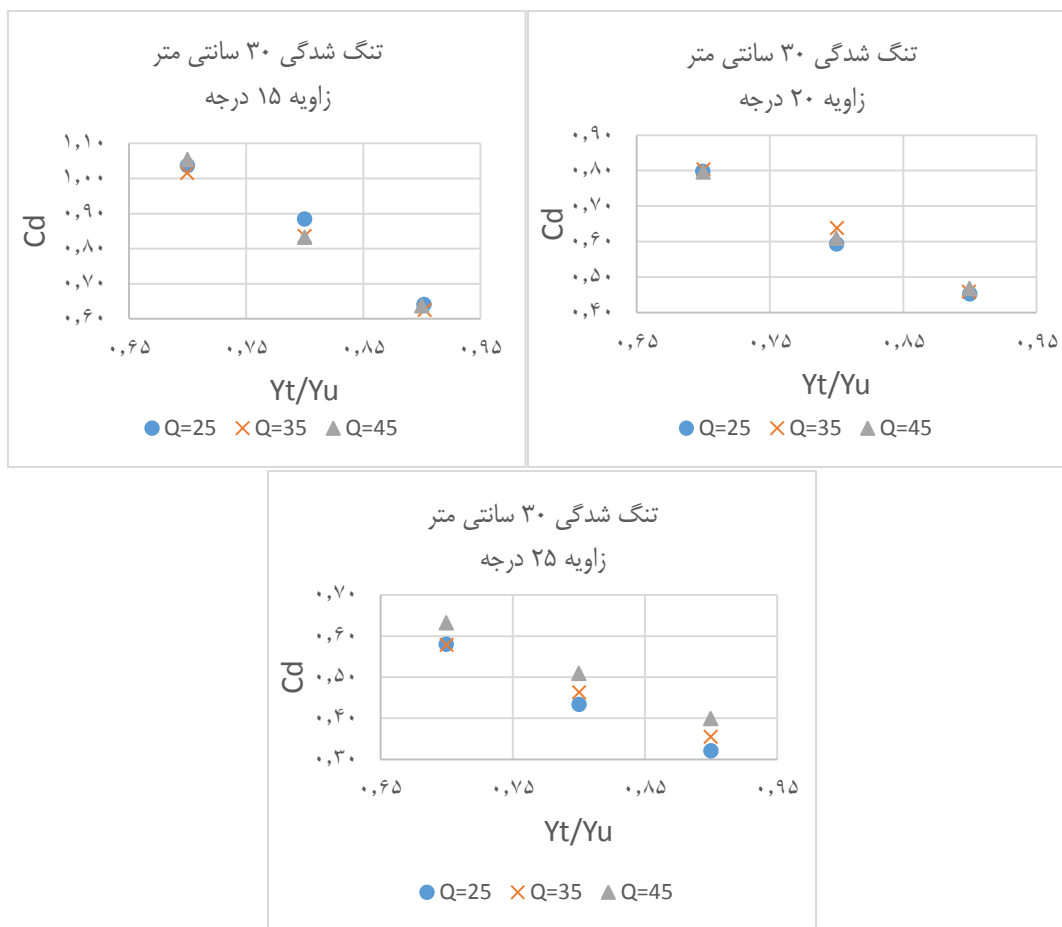
سالونی-بیضوی در شرایط جریان مستغرق مورد ارزیابی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده، وجود تبدیل ناگهانی باعث کاهش ضریب دبی نسبت به مدل درچه سالونی-بیضوی هم عرض کانال

### نتیجه گیری

در این تحقیق اثر تبدیل ناگهانی بر مقدار ضریب دبی درچه

مجموع با حدود ۴۳٪ افزایش در عدد فرود، ضریب دبی به طور متوسط ۴۲٪ افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج داده‌های آزمایشگاهی و پارامترهای موثر، روابطی نظری جهت توصیف ضریب دبی در پیچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق ارائه گردید که تابعی از استغراق نسبی و نسبت بازشدگی در پیچه تحت اثر تبدیل و زاویه بازشدگی می‌باشد. این روابط مورد صحت سنجی قرار گرفته و در حالت خطی و غیرخطی به ترتیب از خطای  $\pm 5\%$  و  $\pm 15\%$  برخوردار می‌باشند.

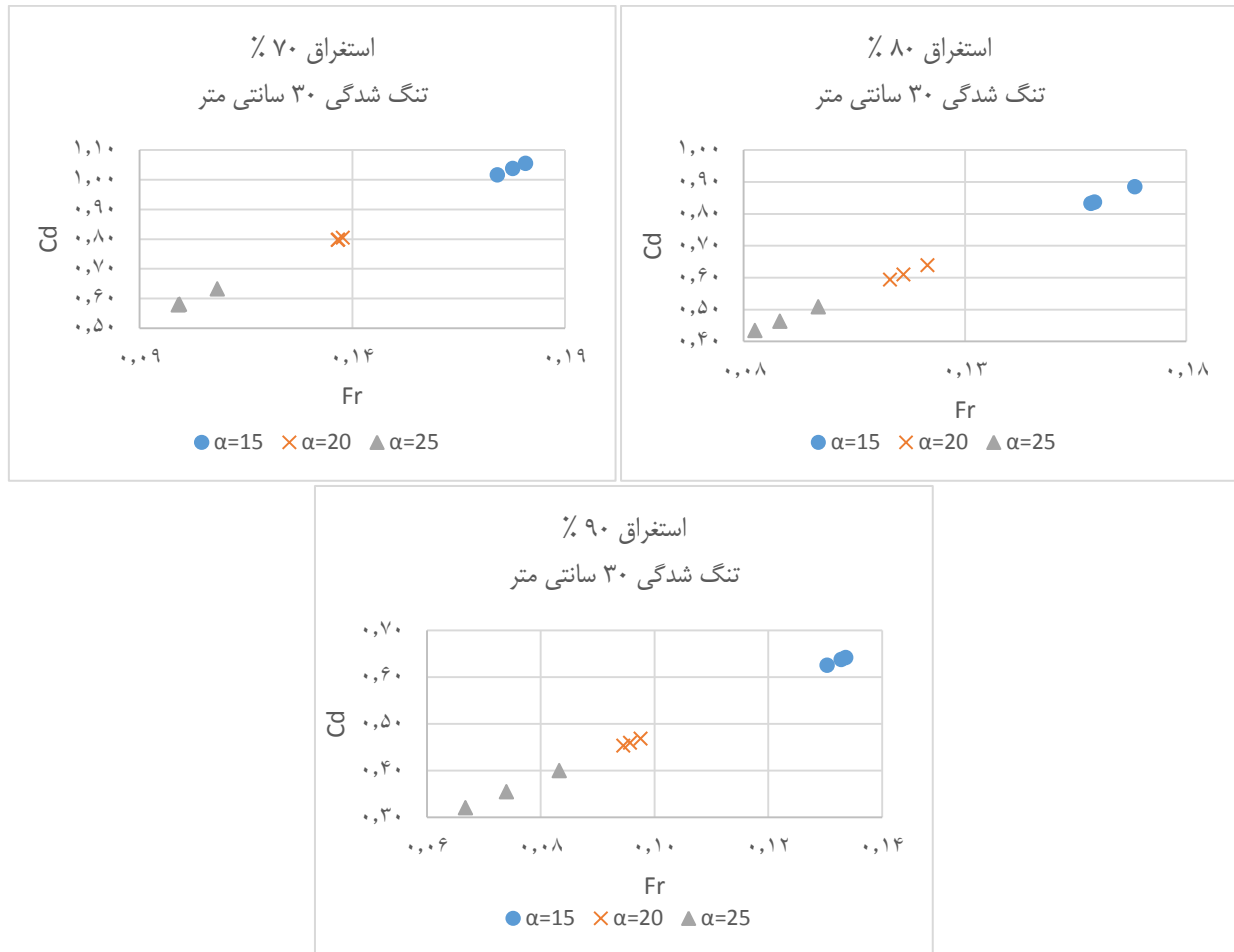
در حدود ۱۴ تا ۷۳٪ می‌گردد و در مجموع با ۴۰٪ فشردگی، ضریب دبی به طور متوسط ۶۴/۷٪ کاهش می‌یابد. تحت اثر زاویه بازشدگی و استغراق، ضریب دبی به ترتیب در حدود ۱۴ تا ۷۳٪ و ۱۳ تا ۷۴٪ کاهش می‌یابد. با حدود ۵۴٪ تنگ تر شدن زاویه (در فشردگی ۳۰ سانتی‌متر)، ضریب دبی به طور متوسط ۵۵٪ کاهش می‌یابد و با حدود ۲۳٪ افزایش استغراق (در فشردگی ۳۰ سانتی‌متر)، ضریب دبی به طور متوسط ۶۵/۷٪ کمتر می‌گردد. تحت تاثیر عدد فرود، از حداقل ۱۴٪ تا حداکثر ۷۴٪ افزایش ضریب دبی مشاهده گردید و در



شکل ۷- نمودار تغییرات ضریب دبی و پارامتر  $Y_t/Y_u$  تحت تبدیل ۳۰ سانتی‌متر

جدول ۱- میزان خطای روابط ضریب دبی در شرایط جریان مستغرق

رابطه ضریب دبی	۸۰٪ داده‌های آزمایشگاهی			۲۰٪ داده‌های آزمایشگاهی		
	RMSE	MAPE (%)	RE (%)	RMSE	MAPE (%)	RE (%)
رابطه (۴)	۰/۰۰۱۵۴	۳/۱	±۱۰	۰/۰۰۲۱۸	۳/۳	±۵
رابطه (۵)	۰/۰۰۴۵	۹/۶	±۱۷	۰/۰۰۷۵	۱۱/۶	±۱۱



شکل ۸- نمودار تغییرات ضریب دبی و عدد فرود تحت تبدیل ۳۰ سانتی متر

یوسفوند، ف. و کاویانپور، م. ر. ۱۳۹۴. ارائه روابط دبی-اشل دریاچه سالونی با فشردگی جانبی به عنوان سازه نوین درون مزرعه ای در شرایط جریان آزاد، اولین همایش ملی بررسی ابعاد فنی، اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی طرح احیا ۵۵۰ هزار هکتاری اراضی خوزستان و ایلام، اهواز.

بابایی فقیه محله، ر.، اسمعیلی ورکی، م. و شفیع ثابته، ب. ۱۳۹۷. بررسی تأثیر مشخصات هندسی و شرایط هیدرولیکی بر عملکرد سازه تنظیم دبی دریاچه سالونی پارشال فلوم. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹ (۴): ۷۲۷-۷۱۷

یوسفوند، ف.، منعم، م. ج. و کاویانپور، م. ر. ۱۳۹۷. برآورد معادلات جریان و ضریب دبی دریاچه های سالونی در شرایط جریان مستغرق. مجله پژوهش آب ایران. ۱۲ (۲): ۵۸-۵۱

یوسفوند، ف.، منعم، م. ج. و کاویانپور، م. ر. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی تأثیر استغراق و تبدیل ورودی بر روابط دبی-اشل دریاچه سالونی. نشریه تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹ (۵): ۱۱۰۶-۱۰۹۵

## منابع

نقائی، ر. ۱۳۹۲. معرفی شرایط مختلف هیدرولیکی و بهره‌برداری دریاچه سالونی در کانال‌های آبیاری. اولین همایش ملی آبیاری و بهره‌وری آب، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد.

نقائی، ر. و منعم، م. ج. ۱۳۹۲. معرفی دریاچه سالونی جهت تنظیم سطح آب در کانال‌های آبیاری و ارائه رابطه هیدرولیکی آن. چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

یوسفوند، ف. و منعم، م. ج. ۱۳۹۳. معرفی دریاچه سالونی و استخراج رابطه هیدرولیکی دبی در شرایط جریان آزاد. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تبریز، دانشگاه تبریز.

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



- Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, No. 124(1), pp.3-10.
- Oad, R., and Kinzli, K., 2006. SCADA Employed in Middle Rio Grande Valley to Help Deliver Water Efficiently. News letter of the water center at Colorado State University [online] 10 August. Available from: <http://www.as2i.net/products/control-gates>.
- Langeman, p., Craig, k., Elser, p., Allen, L., 2006, Irrigation Gate System, US Patent 7,114,878 B2.
- Aqua Systems 2000 Inc, 2013. Leaders in Water Management and Control, Aqua Systems 2000 Inc. Available from: <http://www.as2i.net/products/controlgates/hydra-lopac-gate> [10 September 2013].
- پیل بالا، ا. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان عبوری از دریچه سالونی-بیضوی در شرایط جریان مستغرق. کارشناسی ارشد، گروه سازه های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- یوسفوند، ف.، منعم، م. ج. و کاویانپور، م. ر. ۱۳۹۸. تعیین رابطه آستانه استغراق و بازشدگی دریچه های سالونی در شرایط مختلف جریان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (۳): ۶۴۷-۶۵۶
- Gomez, M., Rodellar, J., and Mantencon, J., 2002. Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals. Applied Mathematical Modeling, 26:1039-1056.
- Malaterre, P.O., Rogers, D., and Schuurmans, j., 1998. Classification of canal control algorithms. Journal of

## Investigation of the Effect of Sudden Transition on the Elliptical-Lopac Gate Discharge Coefficient under Submerged Flow Conditions

S.M. Sajjadi<sup>1\*</sup>, H. Kheibar<sup>2</sup>, J. Ahadiyan<sup>3</sup>

Received: Oct.08, 2019

Accepted: Dec.03, 2019

### Abstract

One of the new structures of water level regulation in irrigation canals is the Lopac gate which has several advantages such as overflow and non-accumulation of sediments. The elliptical-lopac gate (ELG) is a new type of lopac gate that introduces a higher discharge coefficient than the rectangular lopac gate (RLG) as well as easier passage of floating objects in the flow. In the present study, the effect of sudden transition on the discharge coefficient value of ELG in submerged flow conditions has been evaluated in the laboratory. The results showed that the sudden transition in the ELG reduces the discharge coefficient 14 to 73% compared to the channel width conditions. Also, the discharge coefficient has a direct relationship with the Froude number and opening angle of the ELG and the inverse relationship with the rate of channel narrowing due to the transition and submergence of the ELG. Finally, the empirical equations were presented to estimate the discharge coefficient of ELG with sudden transition under submerged flow conditions with maximum error of 5% and 15%.

**Keywords:** Discharge Coefficient, Elliptical-lopac Gate, Froude Number, Sudden Transition, Opening Angle

---

1- Assistant Professor of Department of Water Structures, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran  
2- Master Student of Water and Hydraulic Structures, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran  
3- Associate Professor of Department of Water Structures, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran  
(\*- Corresponding Author Email: sajjadi.mohsen@gmail.com)