

بررسی استهلاک انرژی و دبی عبوری از دریچه سالونی- بیضوی در شرایط وجود تبدیل ناگهانی

هومن خیبر، سید محسن سجادی* و جواد احدیان^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۱)

چکیده

دریچه های سالونی با مزایای قابلیت نصب آسان، خودکارسازی و امکان عبور راحت رسوبات و اجسام شناور، از جمله سازه های جدید تنظیم سطح آب و کنترل دبی در کانال های آبیاری هستند. تبدیل شکل دریچه از مستطیلی به بیضوی، امکان افزایش دبی عبوری با یک رقوم سطح آب را فراهم می کند. در تحقیق حاضر تأثیر تبدیل ناگهانی بر مقدار دبی و افت انرژی دریچه سالونی- بیضوی در شرایط جریان مستغرق به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بیانگر آن است که مقدار دبی و افت انرژی دریچه سالونی- بیضوی با تبدیل ناگهانی نسبت به شرایط هم عرض کانال به ترتیب در حدود ۲۸ تا ۸۶ درصد کاهش و ۱۱ تا ۳۵ درصد افزایش می یابد. در پایان روابط آماری برای برآورد دبی با حداکثر خطای $\pm 16\%$ درصد و افت انرژی دریچه دریچه سالونی- بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق با حداکثر خطای $\pm 16\%$ درصد ارائه شد.

واژه های کلیدی: جریان مستغرق، دریچه سالونی- بیضوی، افت انرژی، دبی جریان، تبدیل ناگهانی

۱. گروه سازه های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: sajjadi.mohsen@gmail.com

مقدمه

عملکرد ضعیف سازه‌های تنظیم و اندازه‌گیری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی باعث کاهش راندمان شده و همچنان ضرورت بهبود و ارتقای این سازه‌ها محسوس است (۳). این مسئله باعث شده که اندازه‌گیری دقیق دبی و بررسی تلفات انرژی در سازه‌های آبی، همچنان موضوع مقالات جدید باشد. به‌عنوان نمونه با ترکیب روابط مومنتوم و افت انرژی، منحنی‌های بهتری از دبی عبوری دریاچه کشویی ارائه شد (۱۰). حبیب‌زاده و همکاران، تأثیر تلفات انرژی بر ضریب دبی دریاچه کشویی را مورد مطالعه قرار دادند (۴). با توجه به موارد فوق، ارائه سازه‌هایی با کارایی بهتر و بهره‌برداری راحت‌تر همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است. یکی از این سازه‌ها دریاچه سالونی است که به‌شکل دو لنگه در مستطیلی به دیواره‌های کانال لولا می‌شود و با تغییر بازشدگی، امکان تنظیم ارتفاع آب برای دبی‌های متفاوت در بالادست دریاچه فراهم می‌شود (۷).

دریاچه سالونی (Lopac Gate) در دهه ۱۹۸۰ توسط پیترو لانگمن و همکاران، برای مدیریت نوسانات سطح آب در کانال‌های آبیاری ابداع شد و تاکنون تعدادی از کاربرد موفقیت‌آمیز آن از جمله استفاده در پروژه Middle Rio Grand در نیومکزیکو در سال ۲۰۰۶ گزارش شده است (۵). شرکت Aqua System 2000 Inc. (AS2I) به‌منظور ارائه یک راه حل انعطاف‌پذیر و اقتصادی، برای کنترل جریان در کانال‌های کوچک و متوسط، مدل سازه دریاچه سالونی را با یک سیستم محرک هیدرولیکی ترکیب کرد (۱). نقائی و منعم با استفاده از نمودارهای ارائه شده توسط AS2I، رابطه دبی-اشل را برای دریاچه‌های سالونی مستطیلی ارائه کردند (۶). یوسفوند و منعم ضمن معرفی دریاچه‌های سالونی مستطیلی، رابطه دبی دریاچه‌های سالونی مستطیلی هم‌عرض کانال در شرایط جریان آزاد را ارائه کردند (۱۱). صادقی و منعم به بررسی و مقایسه عملکرد دریاچه سالونی مستطیلی و دریاچه کشویی در کانال آبیاری، با استفاده از مدل هیدرودینامیک ICSS پرداختند (۹).

یوسفوند و کاویانپور روابط دبی اشل دریاچه سالونی مستطیلی با فشرده‌گی جانبی را به‌عنوان سازه نوین درون مزرعه‌ای در حالت جریان آزاد بررسی کردند و در مجموع ۳۰ آزمایش به این نتیجه رسیدند که معادلات ارائه شده برای دبی اشل دریاچه سالونی با فشرده‌گی جانبی دارای دقت مطلوبی در برآورد دبی این سازه بوده و ضریب دبی با تبدیل ناگهانی کمتر از ضریب دبی با تبدیل تدریجی دریاچه است (۱۲). بابایی فقیه‌محلله و همکاران از سازه دریاچه سالونی-پارشال فلوم استفاده کرده 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 تأثیر می‌گذارد (۲). یوسفوند و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، معادله‌ای صریح برای محاسبه ضریب دبی دریاچه‌های سالونی مستطیلی در شرایط جریان مستغرق ارائه کردند. 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 (۱۳). در تحقیقی دیگر، یوسفوند و همکاران (۱۳۹۷) رابطه دبی-اشل دریاچه سالونی مستطیلی هم‌عرض 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 کردند (۱۴). پیل بالا 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 بازشدگی 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 هر دو مدل بیضوی و مستطیلی پیشنهاد شد (۸). شکل (۱) نمایی از یک دریاچه سالونی را نشان می‌دهد. یوسفوند و همکاران آستانه استغراق دریاچه سالونی مستطیلی در زوایای مختلف بازشدگی را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور دریاچه سالونی در شرایط مختلف هیدرولیکی به‌ازای مقادیر مختلف زاویه و دبی جریان،



شکل ۱. نمایی از یک دریچه سالونی (Aqua Systems 2000)

Y_u عمق آب در بالادست دریچه، Y_t عمق آب در پایین دست دریچه، B عرض کانال، b عرض دریچه، b_g میزان عرض بازشدگی تحت تأثیر زاویه، Q دبی جریان، ρ جرم مخصوص، μ لزجت دینامیکی سیال، g شتاب جاذبه، E_1 انرژی بالادست دریچه و ΔE اختلاف انرژی بالادست و پایین دست دریچه است.

پارامترهای ρ ، g و Y_t را به عنوان متغیر تکراری در نظر می گیریم. با استفاده از تئوری باکینگهام، در نهایت خواهیم داشت:

$$f\left(\frac{Y_t}{Y_u}, \frac{b_g}{Y_u}, \frac{b}{Y_u}, \frac{B}{Y_u}, \frac{\Delta E}{E_1}, Fr, Re\right) = 0 \quad (2)$$

پارامترهای $\frac{B}{Y_u}$ با $\frac{b}{Y_u}$ و $\frac{b_g}{Y_u}$ را با یکدیگر ادغام می کنیم. با توجه به دامنه تغییرات عدد رینولدز (Re)، جریان کاملاً متلاطم بوده و در نتیجه می توان از این پارامتر در محاسبات صرف نظر کرد. در نهایت رابطه (۳) به دست می آید:

$$\frac{\Delta E}{E_1} = f\left(\frac{Y_t}{Y_u}, \frac{b_g}{b}, \frac{b}{B}, Fr\right) \quad (3)$$

نسبت $\frac{Y_t}{Y_u}$ عمق بالادست به پایین دست دریچه (بیانگر نسبت استغراق)، $\frac{b}{B}$ نسبت عرض دریچه به عرض کانال

در آزمایشگاه مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت رابطه ای برای آستانه استغراق دریچه با استفاده از نتایج آزمایشگاهی در دو دبی ۰/۰۲۵ و ۰/۰۳۵ متر مکعب بر ثانیه و بر مبنای پارامترهای بی بعد مؤثر بر سازه استنتاج شد (۱۵).

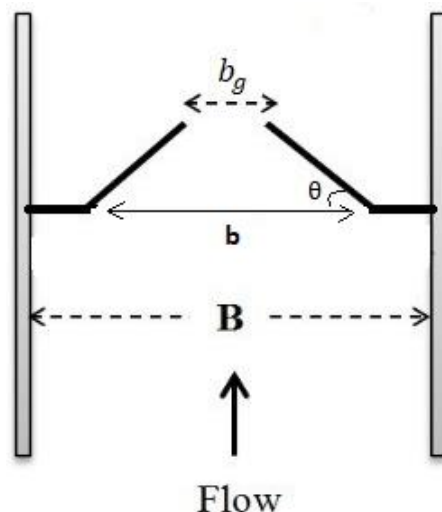
سازه دریچه سالونی - بیضوی نوع جدیدی از دریچه های سالونی است که هدف اصلی آن در خصوص تخلیه آب از دریچه، با ضریب دبی بالاتر از حالت مستطیلی و همچنین عبوردهی راحت تر اجسام شناور است، به طوری که آسیبی به بدنه دریچه وارد نمی شود. در این پژوهش، تأثیر تبدیل ناگهانی بر دبی عبوری و استهلاک انرژی دریچه سالونی - بیضوی در شرایط جریان مستغرق مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به نتایج آزمایشگاهی، روابطی برای محاسبه دبی و استهلاک انرژی ارائه شده است. این روابط بی بعد بوده و شامل مجموعه پارامترهای مؤثر نظیر تأثیر تبدیل های ناگهانی، زاویه بازشدگی دریچه، نسبت استغراق و عدد فرود هستند.

مواد و روش ها

آنالیز ابعادی دبی و استهلاک انرژی

پارامترهای مؤثر بر افت انرژی دریچه سالونی - بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق به صورت معادله (۱) خواهد بود:

$$f(Q, Y_t, Y_u, b_g, b, B, \mu, \rho, g, E_1, \Delta E) = 0 \quad (1)$$



شکل ۲. پلان دریچه سالونی - بیضوی با تبدیل ناگهانی

مشخصات فلوم آزمایشگاهی و مدل دریچه سالونی - بیضوی با تبدیل ناگهانی

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 متر صورت گرفت. در مدل مورد استفاده، دریچه‌ها از جنس ورق گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر و به عرض و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و شعاع ۳۵ سانتی‌متر تهیه شدند. در شکل (۲) پلان دریچه سالونی - بیضوی با تبدیل ناگهانی نشان داده شده است که در این شکل B عرض کانال، b_g عرض بازشدگی، b عرض دریچه و θ زاویه بازشدگی دریچه است. در هر طرف دریچه ورق‌هایی از جنس PVC به عرض‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر (در مجموع ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متر عرض برای هر تبدیل)، ضخامت ۱/۶ میلی‌متر و ارتفاع مشابه ۴۲ سانتی‌متر به‌عنوان تبدیل ناگهانی قرار داده شد (شکل ۳). در ابتدای فلوم یک سبد پر از پوک‌ه‌های معدنی و یک فوم شناور برای آرام کردن جریان نصب شد.

نحوه انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها برای ۳ زاویه 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

(بیانگر اثر تبدیل ناگهانی)، $\frac{b_g}{b}$ نسبت عرض بازشدگی به عرض دریچه (بیانگر تأثیر زاویه) است و Fr عدد فرود است. به‌طور مشابه، پارامترهای مؤثر بر دبی عبوری از دریچه سالونی بیضوی در شرایط جریان مستغرق به‌صورت معادله (۴) خواهد بود:

$$f(Q, Y_t, Y_u, b_g, b, B, \mu, \rho, g) = 0 \quad (4)$$

پارامترهای ρ ، g و Y_t را به‌عنوان متغیرهای تکراری در نظر می‌گیریم. به‌کمک تئوری باکینگهام و پس از ادغام پارامترها، در نهایت رابطه (۵) نتیجه می‌شود:

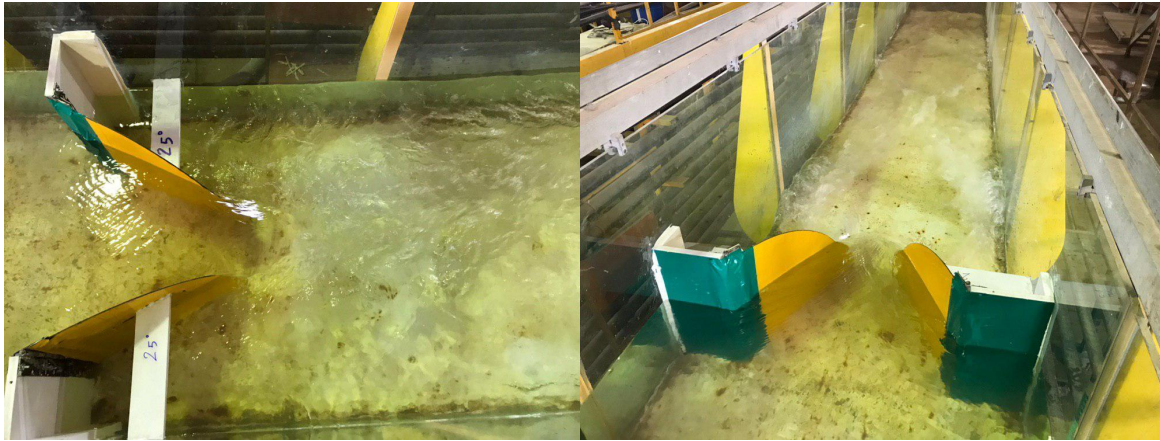
$$\frac{Q}{\sqrt{gY_u^5}} = f\left(\frac{Y_t}{Y_u}, \frac{b_g}{b}, \frac{b}{B}, Re\right) \quad (5)$$

با صرف نظر از عدد رینولدز با توجه به متلاطم بودن جریان، رابطه (۶) نتیجه می‌شود:

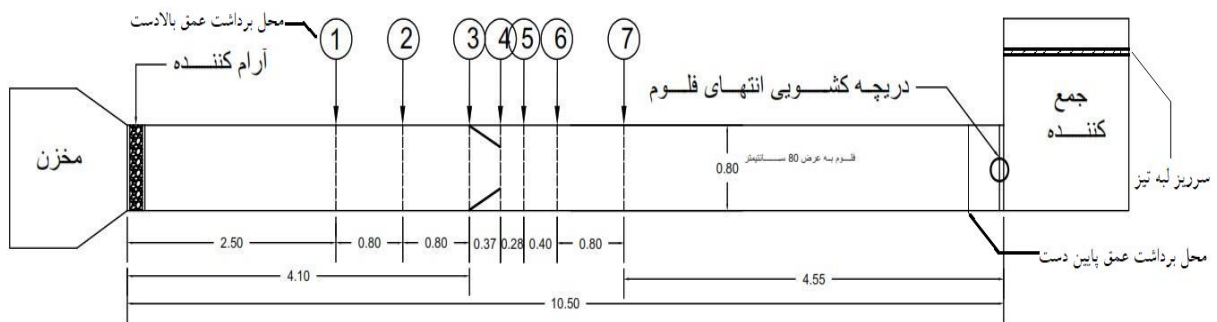
$$\frac{Q}{\sqrt{gY_u^5}} = f\left(\frac{Y_t}{Y_u}, \frac{b_g}{b}, \frac{b}{B}\right) \quad (6)$$

دبی بدون بعد است.

به‌منظور ارزیابی صحت و دقت معادله استهلاک انرژی، از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین خطای نسبی (MAPE) و خطای نسبی (RE) استفاده شد.



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



شکل ۴. پلان فلوم آزمایشگاهی (ابعاد به متر)

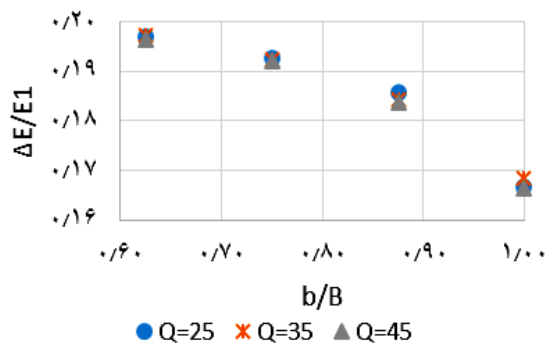
آزمایشگاهی نشان داده شده است.

نتایج و بحث

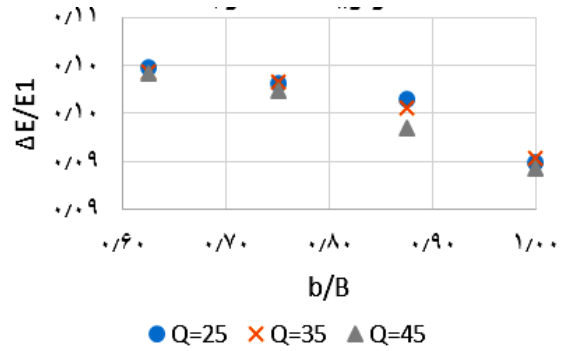
تأثیر تبدیل ناگهانی (b/B) بر استهلاک انرژی

پارامتر b/B نشان‌دهنده نسبت عرض دریچه به عرض کانال است که بیانگر اثر تبدیل ناگهانی است. در حالت هم‌عرض کانال مقدار این پارامتر برابر با یک بوده و در تبدیل های 10° ، 20° و 30° سانتی متر مقدار آن به ترتیب برابر با $0/75$ ، $0/875$ و $0/925$ است. نتایج نشان می‌دهد که هرچه فشردگی جانبی بیشتر شود، افت انرژی بیشتر می‌شود و در شرایط مختلف زوایه بازشدگی و استغراق، از حداقل ۱۱ درصد تا حداکثر ۳۵ درصد افزایش افت انرژی مشاهده شد. شکل (۵) به عنوان نمونه، تغییرات افت انرژی در مقابل تبدیل ناگهانی را برای استغراق‌های

سه درصد استغراق 70° ، 80° و 90° درصد مورد بررسی قرار گرفت و لذا در مجموع ۸۱ آزمایش انجام شد. دبی جریان به‌کمک یک سرریز لبه تیز مستطیلی نصب شده درون مخزن جمع‌کننده در انتهای فلوم، اندازه‌گیری شد. به منظور ایجاد استغراق، از یک دریچه کشویی که در انتهای فلوم نصب شده است، استفاده شد. برای رسیدن به استغراق مورد نظر با بستن دریچه کشویی جریان از حالت جریان آزاد با ایجاد آب برگشتی و حرکت آن به سمت بالادست به جریان مستغرق تبدیل می‌شود. نسبت میانگین عمق پایین دست به میانگین عمق بالادست دریچه باید برابر با درصد استغراق مورد نظر باشد تا آن استغراق حاصل شود. برای اندازه‌گیری عمق جریان آب نیز از عمق سنجی با دقت $0/1$ میلی‌متر استفاده شد. در شکل (۴) نمای کلی فلوم و محل قرارگیری تجهیزات

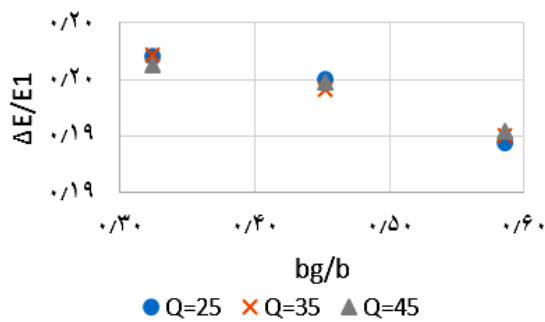


استغراق ۸۰٪ زاویه ۲۵ درجه

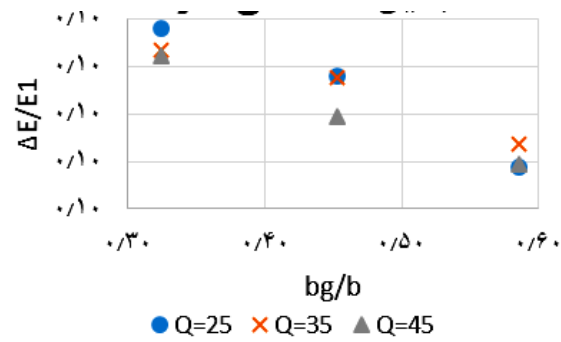


استغراق ۹۰٪ زاویه ۲۵ درجه

شکل ۵. منحنی تغییرات افت انرژی نسبت به پارامتر b/B تحت زاویه ۲۵ درجه



استغراق ۸۰٪ تبدیل ۳۰ سانتی متر



استغراق ۹۰٪ تبدیل ۳۰ سانتی متر

شکل ۶. منحنی تغییرات افت انرژی نسبت به پارامتر bg/b تحت تبدیل ۳۰ سانتی متر

افزایش افت انرژی مشاهده شد. شکل (۶) به عنوان نمونه، تغییرات افت انرژی در مقابل زاویه را برای استغراق های متفاوت در تبدیل ۳۰ سانتی متر نشان می دهد. در مجموع با حدود ۴۵ درصد تنگ تر شدن مقطع زاویه (در تبدیل ۳۰ سانتی متر)، افت انرژی به طور متوسط ۲۰ درصد نسبت به حالت هم عرض افزایش می یابد.

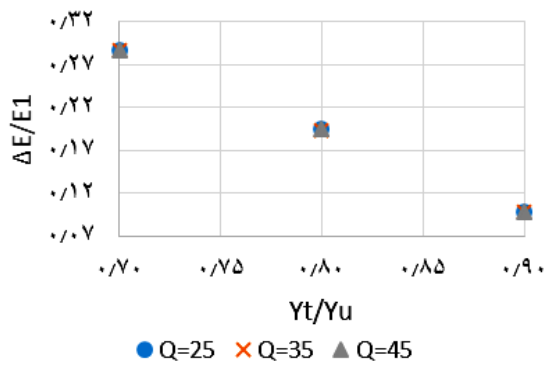
تأثیر استغراق ($\frac{Y_t}{Y_u}$) بر استهلاک انرژی

پارامتر $\frac{Y_t}{Y_u}$ نشان دهنده نسبت عمق جریان پایین دست به بالادست بوده و بیانگر اثر استغراق است. مقدار این پارامتر برای استغراق های ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درصد به ترتیب برابر ۰/۷، ۰/۸ و

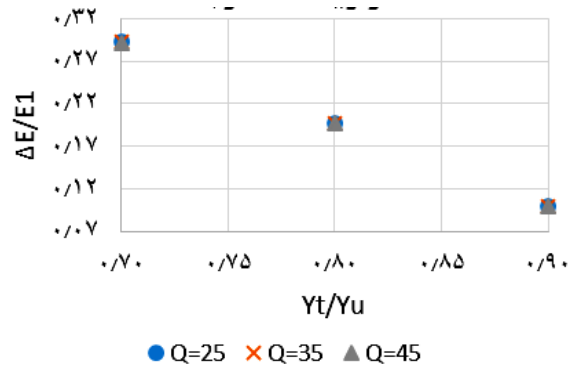
متفاوت تحت زاویه بازشدگی ۲۵ درجه نشان می دهد. در مجموع با ۴۰ درصد فشردگی (ضریب تبدیل ۰/۶۲۵)، افت انرژی به طور متوسط ۲۰ درصد نسبت به حالت هم عرض کانال افزایش می یابد.

تأثیر زاویه بازشدگی ($\frac{b_g}{b}$) بر استهلاک انرژی

پارامتر $\frac{b_g}{b}$ نشان دهنده نسبت عرض زاویه بازشدگی به عرض دریچه است و بیانگر اثر زاویه بوده و مقدار آن متغیر است. نتایج نشان می دهد که هرچه مقطع زاویه تنگ تر شود، مقدار افت انرژی بیشتر می شود و در شرایط مختلف تبدیل ناگهانی و استغراق، از حداقل ۱۳ درصد تا حداکثر ۲۶ درصد

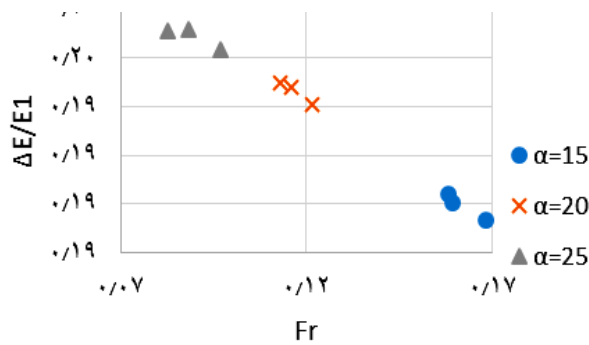


تبدیل ۳۰ سانتی متر زاویه ۲۰ درجه

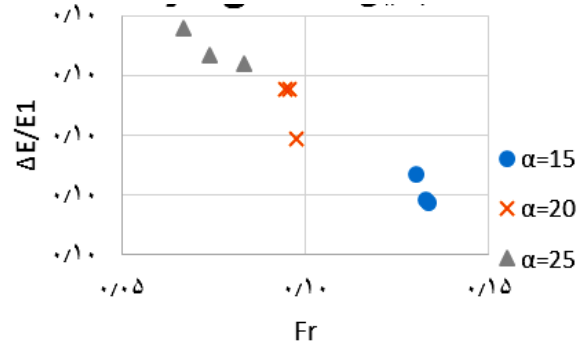


تبدیل ۳۰ سانتی متر زاویه ۲۵ درجه

شکل ۷. منحنی تغییرات افت انرژی نسبت به پارامتر $\frac{Y_t}{Y_u}$ تحت تبدیل ۳۰ سانتی متر



استغراق ۸٪/ ۳۰ سانتی متر



استغراق ۹٪/ ۳۰ سانتی متر

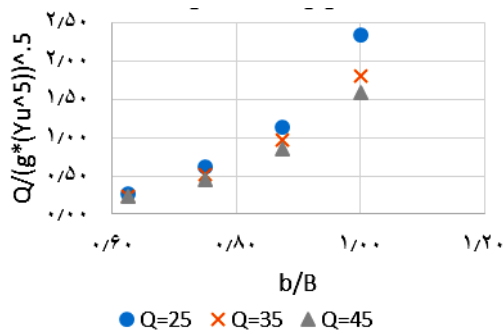
شکل ۸. منحنی تغییرات افت انرژی نسبت به عدد فرود تحت تبدیل ۳۰ سانتی متر

مقدار افت انرژی کاهش می‌یابد و در شرایط متفاوت فشردگی جانبی، زاویه بازشدگی و استغراق، از حداقل ۱۱ درصد تا حداکثر ۳۳ درصد کاهش در مقدار افت انرژی مشاهده شد. شکل (۸) به عنوان نمونه، تغییرات افت انرژی در مقابل عدد فرود را برای زوایا و استغراق های متفاوت در تبدیل ۳۰ سانتی متر نشان می‌دهد. همچنین با تنگ تر شدن مقطع زاویه، مقدار افت بیشتر می‌شود. در مجموع با حدود ۶۰ درصد افزایش در عدد فرود (در تبدیل ۳۰ سانتی متر)، افت انرژی به طور متوسط ۲۲ درصد نسبت به حالت هم عرض کانال کاهش می‌یابد.

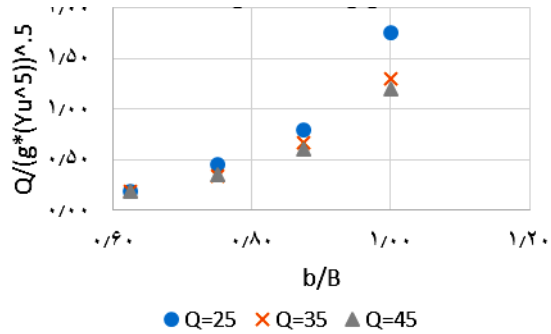
۰/۹ است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش استغراق، افت انرژی کاهش می‌یابد و در شرایط مختلف تبدیل و زاویه بازشدگی، از حداقل ۱۱ درصد تا حداکثر ۳۳ درصد کاهش در مقدار افت انرژی مشاهده شد. شکل (۷) به عنوان نمونه، تغییرات افت در مقابل استغراق را در تبدیل ۳۰ سانتی متر نشان می‌دهد. در مجموع با حدود ۲۳ درصد افزایش استغراق (در تبدیل ۳۰)، افت انرژی به طور متوسط ۲۱/۳ درصد نسبت به حالت هم عرض کاهش می‌یابد.

تأثیر عدد فرود بر استهلاک انرژی

نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود جریان (Fr)،

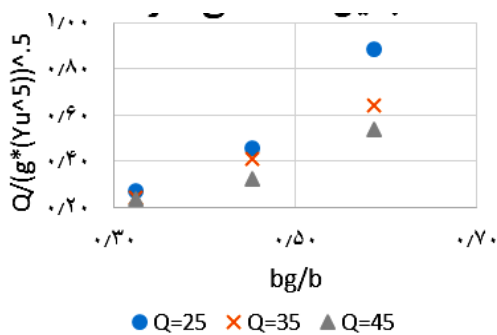


استغراق ۸۰٪ زاویه ۲۵ درجه

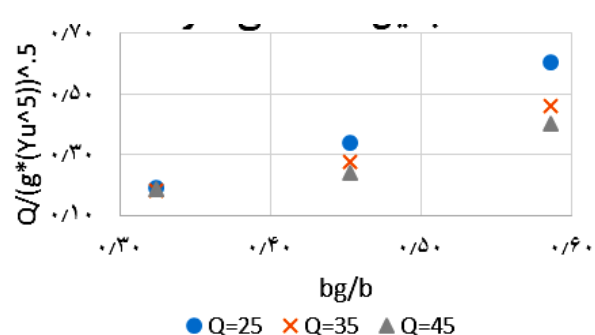


استغراق ۹۰٪ زاویه ۲۵ درجه

شکل ۹. منحنی تغییرات دبی بدون بعد نسبت به پارامتر b/B تحت زاویه ۲۵ درجه



استغراق ۸۰٪ تبدیل ۳۰ سانی متر



استغراق ۹۰٪ تبدیل ۳۰ سانی متر

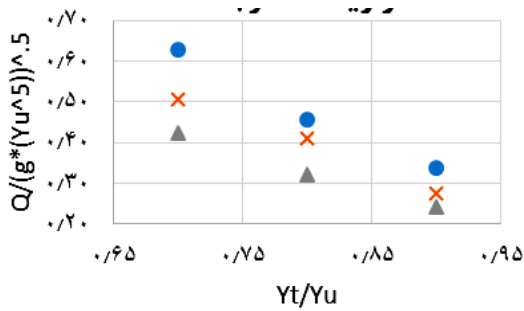
شکل ۱۰. منحنی تغییرات دبی بدون بعد نسبت به پارامتر $\frac{Y_t}{Y_u}$ تحت تبدیل ۳۰ سانی متر

تأثیر زاویه بازشدگی $(\frac{b_g}{b})$ بر دبی بدون بعد

نتایج نشان می‌دهد که هرچه مقطع زاویه تنگ‌تر شود (نسبت $\frac{b_g}{b}$ کوچک‌تر شود)، مقدار پارامتر دبی بدون بعد کمتر می‌شود و در شرایط مختلف تبدیل ناگهانی و استغراق، از حداقل ۲۸ درصد تا حداکثر ۸۶ درصد کاهش در مقدار دبی بدون بعد مشاهده شد. شکل (۹) به عنوان نمونه، تغییرات پارامتر دبی بدون بعد در مقابل تبدیل ناگهانی را برای استغراق‌های متفاوت تحت زاویه بازشدگی ۲۵ درجه نشان می‌دهد. در مجموع با حدود ۴۵ درصد تنگ‌تر شدن مقطع زاویه (در تبدیل ۳۰ سانی متر)، پارامتر دبی بدون بعد به‌طور متوسط در حدود ۸۳ درصد نسبت به حالت هم‌عرض کانال کاهش می‌یابد.

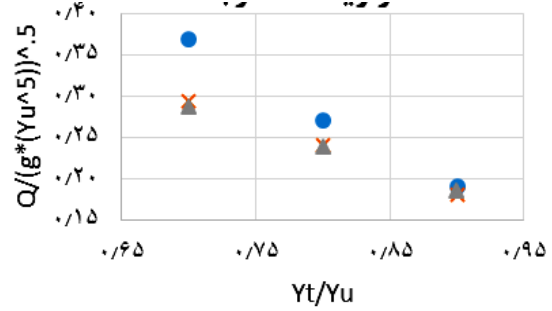
تأثیر تبدیل ناگهانی $(\frac{b}{B})$ بر دبی بدون بعد

نتایج نشان می‌دهد که هرچه فشردگی جانبی بیشتر شود، پارامتر دبی بدون بعد کاهش می‌یابد و در شرایط مختلف زاویه بازشدگی و استغراق، از حداقل ۲۸ درصد تا حداکثر ۸۶ درصد کاهش در مقدار دبی بدون بعد مشاهده شد. شکل (۹) به عنوان نمونه، تغییرات پارامتر دبی بدون بعد در مقابل تبدیل ناگهانی را برای استغراق‌های متفاوت تحت زاویه بازشدگی ۲۵ درجه نشان می‌دهد. در مجموع با حدود ۴۰ درصد فشردگی (ضریب تبدیل ۰/۶۲۵)، دبی بدون بعد به‌طور میانگین در حدود ۸۰ درصد نسبت به حالت هم‌عرض کانال کاهش می‌یابد.



● Q=25 × Q=35 ▲ Q=45

تبدیل ۳۰ سانتی متر زاویه ۲۰ درجه



● Q=25 × Q=35 ▲ Q=45

تبدیل ۳۰ سانتی متر زاویه ۲۵ درجه

شکل ۱۱. منحنی تغییرات دبی بدون بعد نسبت به پارامتر Y_t/Y_u تحت تبدیل ۳۰ سانتی متر

می شود:

$$\frac{Q}{\sqrt{gY_u^5}} = 3.842 \times \left(\frac{Y_t}{Y_u}\right)^{-1.358} \times \left(\frac{b_g}{b}\right)^{2.107} \times \left(\frac{b}{B}\right)^{2.100} \quad (8)$$

نسبت Y_t/Y_u نسبت عمق پایین دست به بالادست دریچه، b/B نسبت عرض دریچه به عرض کانال، b_g/b نسبت عرض بازشدگی به عرض دریچه و عدد فرود جریان است. روابطی که برای افت انرژی و دبی به دست می آید در محدوده پارامترهای مؤثر مطابق با جدول (۱) است:

این روابط با ۸۰ درصد اطلاعات آزمایشگاهی استخراج شد و با ۲۰ درصد اطلاعات صحت سنجی صورت گرفت که در جدول (۲) میزان خطای آنها نشان داده شده است.

همچنین نتایج آزمایشگاهی در این تحقیق و روابط پیشنهادی حاصل از آن با روابط پیشنهادی پیل بالا (۱۳۹۷) مورد مقایسه قرار گرفت. به طور نمونه شکل (۱۲) میزان خطای نسبی نتایج مقادیر افت انرژی را با کمک به رابطه پیشنهادی پیل بالا در مقایسه با رابطه پیشنهادی حاضر نشان می دهد.

نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایشگاهی، وجود تبدیل ناگهانی باعث کاهش دبی بدون بعد نسبت به حالت هم عرض کانال در

تأثیر استغراق (Y_t/Y_u) بر دبی

نتایج نشان می دهد که با افزایش استغراق، پارامتر دبی بدون بعد کاهش می یابد و در شرایط مختلف تبدیل ناگهانی و زاویه بازشدگی دریچه، از حداقل ۳۰ درصد تا حداکثر ۸۶ درصد کاهش در مقدار این پارامتر مشاهده شد. شکل (۱۱) به عنوان نمونه، تغییرات دبی بدون بعد در مقابل درصد استغراق را برای زوایای متفاوت در تبدیل ۳۰ سانتی متر نشان می دهد. در مجموع با حدود ۲۳ درصد افزایش استغراق (در تبدیل ۳۰ سانتی متر)، دبی بدون بعد به طور میانگین ۸۲ درصد نسبت به حالت هم عرض کانال کاهش می یابد.

روابط نظری افت انرژی و دبی عبوری دریچه سالونی-

بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق

با رگرسیون گیری بین پارامترهای مؤثر با توجه به رابطه (۳)، در نهایت رابطه غیرخطی (۷) حاصل شد که نشان دهنده رابطه میزان نسبت تغییرات انرژی با پارامترهای مؤثر است:

$$\frac{\Delta E}{E_1} = 0.077 \times \left(\frac{Y_t}{Y_u}\right)^{-3.431} \times \left(\frac{b_g}{b}\right)^{-0.305} \times \left(\frac{b}{B}\right)^{-0.523} \times Fr^{0.192} \quad (7)$$

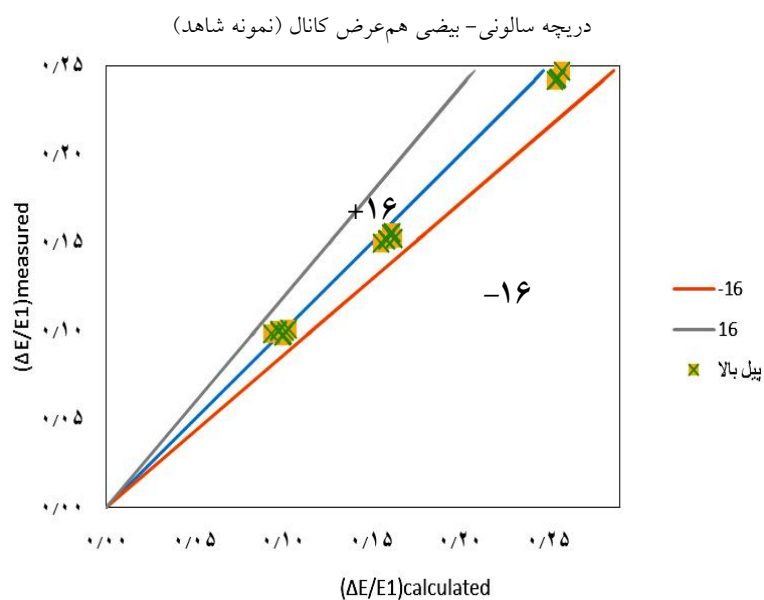
برای رابطه دبی نیز با رگرسیون گیری بین پارامترهای مؤثر با توجه به رابطه (۶)، در نهایت رابطه غیرخطی (۸) حاصل

جدول ۱. دامنه تغییرات پارامترهای مؤثر در بیجه سالونی بیضوی

| پارامتر | دامنه تغییرات | ردیف |
|-------------------|-----------------|------|
| $\frac{Y_t}{Y_u}$ | ۰/۶۹۹۷ – ۰/۹۰۲۴ | ۱ |
| $\frac{b}{B}$ | ۰/۶۲۵ – ۱ | ۲ |
| $\frac{b_g}{b}$ | ۰/۳۲۴۰ – ۰/۷۴۱۱ | ۳ |
| Fr | ۰/۰۸۳۲ – ۰/۴۰۸۴ | ۵ |

جدول ۲. میزان خطای روابط افت انرژی و دبی در شرایط جریان مستغرق

| ۲۰٪ داده‌های آزمایشگاهی (صحت‌سنجی) | | | ۸۰٪ داده‌های آزمایشگاهی | | | رابطه |
|------------------------------------|----------|--------|-------------------------|----------|--------|-----------|
| RE (%) | MAPE (%) | RMSE | RE (%) | MAPE (%) | RMSE | |
| ±۱۶ | ۱۰ | ۰/۰۰۱۴ | ±۱۷ | ۸/۵ | ۰/۰۰۱۳ | رابطه (۷) |
| ±۱۶ | ۱۴/۹ | ۰/۰۰۶۵ | ±۲۰ | ۱۶ | ۰/۰۰۶۷ | رابطه (۸) |



شکل ۱۲. خطای نسبی مقادیر افت انرژی حاصل شده از رابطه پیل بالا (۱۳۹۷) در مقایسه با نتایج حاضر

زاویه (در تبدیل 30°)، مقدار افت انرژی به طور متوسط 20° درصد افزایش و با حدود 23° درصد افزایش استغراق (در تبدیل 30°)، به طور متوسط $21/3^\circ$ درصد افزایش می‌یابد. تحت تأثیر عدد فرود، از حداقل 11° درصد تا حداکثر 35° درصد کاهش افت انرژی مشاهده شد و در مجموع با حدود 60° درصد افزایش در عدد فرود، افت انرژی به طور متوسط 22° درصد کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج داده‌های آزمایشگاهی و پارامترهای مؤثر، روابطی نظری برای توصیف دبی و استهلاک انرژی دریچه سالونی- بیضوی با تبدیل ناگهانی در شرایط جریان مستغرق ارائه شد که تابعی از استغراق نسبی و نسبت بازشدگی دریچه تحت اثر تبدیل و زاویه بازشدگی است. این روابط مورد صحت‌سنجی قرار گرفته و برای دبی بدون بعد از خطای $\pm 16^\circ$ درصد و برای افت انرژی از خطای $\pm 16^\circ$ درصد برخوردار هستند.

حدود 28° تا 86° درصد می‌شود و در مجموع با 40° درصد فشردگی، این پارامتر به طور متوسط 80° درصد کاهش می‌یابد. تحت اثر زاویه بازشدگی و استغراق، این پارامتر به ترتیب در حدود 28° تا 86° درصد و 30° تا 86° درصد کاهش می‌یابد. با حدود 45° درصد تنگ‌تر شدن زاویه (در تبدیل 30° سانتی‌متر)، مقدار دبی بدون بعد به طور متوسط 83° درصد و با حدود 23° درصد افزایش استغراق به طور متوسط 82° درصد کاهش می‌یابد. افت انرژی دریچه با تبدیل ناگهانی، در حدود 11° تا 35° درصد نسبت به حالت هم‌عرض کانال افزایش می‌یابد و در مجموع با 40° درصد فشردگی مقطع، میزان افت به طور میانگین در حدود 20° درصد بیشتر می‌شود. دلیل افزایش افت انرژی نسبت به حالت هم‌عرض کانال، ایجاد جریان‌های گردابه‌ای بر اثر فشردگی مقطع کانال است. تحت اثر زاویه بازشدگی و استغراق، این پارامتر به ترتیب در حدود 13° تا 26° درصد و 11° تا 33° درصد افزایش می‌یابد. با حدود 45° درصد تنگ‌تر شدن

منابع مورد استفاده

1. 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].
2. Babaei Faghih Mahalleh, R., M. Smaeyli Varaki and B. Shafiei Sabet. 2018. Investigation of the effect of geometrical Characteristics and hydraulic conditions on the performance of discharge regulation structure parshal flume lopac gate. *Iran Journal of Soil and Water Research* 49(4): 717-727.
3. Gomez, M., J. Rodellar and J. Mantencon. 2002. Predictive control method for decentralized operation of irrigation canals. *Applied Mathematical Modeling* 26: 1039-1056.
4. Habibzadeh, A., A. R. Vatankhah and N. Rajaratnam. 2011. Role of energy loss on discharge characteristics of sluice gates. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 137(9): 1079-1084.
5. Langeman, P., K. Craig, P. Elser and L. Allen. 2006. Irrigation Gate System, US Patent 7,114,878 B2.
6. Naghaei, R. and M. J. Monem. 2013. Introduction lopac gate in irrigation canals and its hydraulic relation. 4th Iran Conference of Irrigation and Drainage Management. Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz.
7. Oad, R. and K. Kinzli. 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>.
8. Pilbala, A. 2018. Evaluating Hydraulic Conditions of Elliptical Lopac Gate In submerged Flow. A Thesis Submitted for the M.Sc. Degree. Shahid Chamran University of Ahvaz. Ahvaz.
9. Sadeghi, S. and M. J. Monem. 2015. Comparison of lopac and sluice gate in irrigation canals under ASCE standard test conditions. First Iran National Congress of Irrigation and Drainage. Ferdousi University of Mashhad, Mashhad.
10. Silva, C. O. and M. Rijo. 2017. Flow Rate Measurements under Sluice Gates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 143(6): 06017001.
11. Yousofvand, F. and M. J. Monem. 2014. Introduction of lopac gate and extraction of hydraulic relationship of discharge under free flow condition. 13th Iran Hydraulic Conference. University of Tabriz, Tabriz.
12. Yousofvand, F. and M. R. Kaviani-pour. 2015. Presentation of stage-discharge relationships of lopac gate with transition as a new field structure under free flow condition. First National Conference of Review of 550 Thousands Hectare Lands of Khuzestan and Ilam under Technical, Economic, Social and Environmental Dimensions, Ahvaz.

13. Yousofvand, F., M. J. Monem and M. R. Kavianpour. 2018. Determination the relationship of submergence threshold for lopac gate in different flow condition and gate opening. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 13(3): 647-656.
14. Yousofvand, F., M. J. Monem and M. R. Kavianpour. 2018. Estimation of flow and discharge coefficient relationships of lopac gate under submerged flow conditions. *Iranian Water Research Journal* 12(2): 51-58.
15. Yousofvand, F., M. J. Monem and M. R. Kavianpour. 2018. Experimental Investigation of the Effect of Submergence and Entrance Transition on Stage-Discharge Relations for Lopac Gates. *Iran Journal of Soil and Water Research* 49(5): 1095-1106.

Evaluation of Energy Dissipation and Flow Rate of Elliptical-Lopac Gate under Sudden Transition Condition

H. Kheibar, S. M. Sajjadi* and J. Ahadiyan¹

(Received: October 21-2019; Accepted: January 1-2020)

Abstract

Lopac gates, with the benefits of easy installation, automation and the ability to pass sediments and floating objects, are among the new structures considered for water level regulation and flow control in the irrigation canals. Converting the shape of the gate from a rectangular one to an elliptical one allows the flow rate to be increased by the same water level. In the present study, the effect of the sudden transition on the discharge and energy dissipation of the elliptical-lopac gate (ELG) in the submerged flow conditions was evaluated in the laboratory. The results showed that the dimensionless discharge and energy dissipation of the ELG with sudden transition to channel width conditions was decreased by 28 to 86% and increased by 11 to 35%, respectively. Finally, the statistical equations were presented to estimate the dimensionless discharge and energy dissipation of ELG by sudden transition under submerged flow conditions with a maximum error of 16%.

Keywords: Elliptical-lopac gate, Energy dissipation, Flow rate, Sudden transition

1. Department of Water Structures, Faculty of Water Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author, Email: sajjadi.mohsen@gmail.com