Archive of SID

DOI: http://dx.doi.org/10.22092/aridse.2017.109615

تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی/جلد ۱۷/ شماره ٦٧/سال ۱۳۹۵/ص ٤٦-۳۳

بررسی جریان همزمان از زیر دریچهٔ کشویی و روی سرریز ذوزنقه‌ای در کانال دایره‌ای

مریم پاشازاده*، منوچهر حیدرپور، سیدحسین سقائیان‌نژاد و سیدحسین رضویان**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. تلفن: ۳۲۷۰۸۳۵۹(۰۳۱)، پیام‌نگار: pashazade1387@yahoo.com

** به‌ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ عضو هیأت علمی؛ مربی پژوهش؛ و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۸/۱۵

چکیده

سرریزهای لبه‌تیز و دریچه‌های کشویی از نظر سهولت ساخت، قابلیت کنترل سطح آب و اندازه‌گیری شدت جریان همواره مورد توجه‌اند و دربارهٔ آنها مطالعات گسترده‌ای شده است. ماهیت جریان روی سرریز لبه‌تیز بسیار پیچیده است و از این‌رو رابطه‌های استخراج شده همواره با در نظر گرفتن یک سری فرضیات ساده‌کننده و بر اساس آزمایش‌های تجربی در شرایط متفاوت به‌دست آمده‌اند. از طرف دیگر، اغلب سرریزها در بالادست خود منطقه‌ای با آب نسبتاً ساکن ایجاد می‌کنند که می‌تواند محل ته‌نشینی رسوبات و مواد زائد موجود در آب شود که چنین وضعی از معایب این سازه‌ها محسوب می‌گردد. با انباشت مواد رسوبی در بالادست، شرایط جریان تغییر می‌یابد و روابط استخراج‌شده دقت خود را از دست می‌دهند. در اینجا ترکیب سرریز با دریچه می‌تواند راه‌حلی مفید برای عبور مواد شناور از روی سرریز و انتقال مواد رسوبی از زیر دریچه باشد. در این تحقیق خصوصیات هیدورلیکی ۱۸ مدل ترکیبی سرریز- دریچهٔ ذوزنقه‌ای در سه گروه متفاوت با سه بازشدگی مختلف دریچه در انتهای کانال باز با مقطع دایره‌ای بررسی شده است. با استفاده از روش آنالیز ابعادی و حل تحلیلی و با بهره‌گیری از آنالیزهای آماری، معادله‌ای برای دبی ترکیبی مدل ترکیبی سرریز- دریچه ارائه و با داده‌های آزمایشگاهی ارزیابی شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضریب دبی به‌دست آمده مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

واژه‌های کلیدی

آنالیز ابعادی، ضریب دبی، مدل ترکیبی سرریز- دریچه ذوزنقه‌ای

مقدمه

در بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی و انتقال آب از مکانی به مکان دیگر برای آبیاری یا برای آبرسانی، چند موضوع از جمله اندازه‌گیری، انحراف و کنترل جریان از مهمترین زمینه‌های مدیریت منابع آب به‌شمار می‌آیند که از ابتدای زندگی انسان به‌صورت ضرورتی حیاتی مورد توجه بوده است. همچنین، مقدار بالای تبخیر تعرق در نواحی خشک و نیمه‌خشک و اتلاف مقدار زیادی آب هنگام انتقال در مجاری روباز، لزوم استفاده از مجاری بستهٔ دایره‌ای را مطرح می‌سازد. در بین سازه‌های کنترل، انحراف و اندازه‌گیری جریان، سرریز و دریچه به‌علت سهولت ساخت و اندازه‌گیری و برخوردار

www.SID.ir

Archive of SID

بودن از دقت بالا کاربرد بیشتری دارند ولی در صورت تجمع رسوبات و مواد شناور پشت سرریز و دریچه، دقت اندازه‌گیری جریان کاهش می‌یابد و سرانجام به سازهٔ اندازه‌گیری جریان آسیب می‌زند. برای حل این مشکل از ترکیب سرریز با دریچه، سازهٔ ترکیبی ساخته شد که ضمن عبور مواد شناور و رسوبی از زیر و روی سازه، جریان نیز اندازه‌گیری شود. سازه‌های ترکیبی را اولین بار احمد (Ahmed, 1985) معرفی کرد.

الحمید و همکاران (Alhamid *et al.*, 1996) سازه‌ای ترکیبی شامل یک سرریز لبه‌تیز مستطیلی فشرده شده در بالا و یک سرریز مثلثی معکوس در زیر را بررسی کردند و با استفاده از آنالیز رگرسیون چند متغیرهٔ خطی معادله‌ای برای جریان ترکیبی در دو کانال با بستر شیب‌دار و افقی، تحت شرایط آزاد و یا مستغرق، ارائه دادند. این محققان نشان دادند که شیب کف کانال اثری قابل چشم‌پوشی بر تغییر دبی در سیستم سرریز- دریچهٔ ترکیبی دارد و نیز اثر زاویهٔ سرریز مثلثی در زیر سازهٔ ترکیبی بر دبی ترکیبی معنادار است. الحمید و همکاران (Alhamid *et al.*, 1997) چند سری طرح ترکیبی از یک سرریز مثلثی شکل و یک دریچهٔ قطاعی مستطیلی را بررسی و یک معادلهٔ دبی نیمه‌تجربی را با استفاده از رگرسیون چند متغیرهٔ غیر خطی توسعه دادند که با خطای کمتر از ۴ درصد توافق خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌داد. الحمید (Alhamid, 1999) با آزمایش‌های تکمیلی و با در نظر گرفتن اثر عکس‌العمل و تقابل بین جریان‌های سرریز و دریچه و استفاده از تکنیک آنالیز ابعادی و با یکسری فرضیات ساده‌کننده، مانند فرض ناچیز بودن لزوجت و کشش سطحی، معادله‌ای با خطای کمتر از ۴ درصد برای جریان آزاد و ۷ درصد برای جریان مستغرق ارائه داد. نجم (Negm, 2002) به‌جای یکسان گرفتن ضریب دبی سرریز و دریچه توسط الحمید (Alhamid, 1999)، از یک فاکتور عکس‌العمل جداگانه F برای جریان آزاد و مستغرق استفاده کرد که خود تابعی از $\frac{H}{Z_g}$ است (H عمق جریان در بالادست و Z_g مقدار بازشگی دریچه) است. وی معتقد است مقدار بهینهٔ ضریب دبی سرریز و دریچه باید جداگانه از روی مراجع معتبر به‌دست آید. فرو (Ferro, 2000) جریان عبوری از دریچهٔ لبه‌تیز و لبه‌پهن در سه حالت جریان از زیر دریچه، جریان از روی دریچه و جریان ترکیبی از زیر و روی دریچه را بررسی کرد و روابطی بین عمق بحرانی متناظر با دبی عبوری در هر حالت و بار آبی روی سرریز و میزان بازشدگی دریچه بر اساس آنالیز ابعادی به‌دست آورد.

نجم و همکاران (Negm *et al.*, 2002) جریان ترکیبی از روی سرریزهای مستطیلی لبه‌تیز فشرده شده و زیر دریچه‌های مستطیلی لبه‌تیز فشرده شده با فشردگی برابر را بررسی و اعلام کردند که برای بازشدگی‌های خیلی باریک، لزوجت و کشش سطحی اثر معنی‌داری بر جریان ترکیبی دارد و با استفاده از رگرسیون‌گیری خطی چندگانه روابطی برای همبستگی هر دو پارامترهای هندسی و هیدرولیکی جریان با خطای کم دست آوردند. هایوی و همکاران (Hayawi *et al.*, 2008) خصوصیات جریان آزاد در طول سرریز مثلثی ترکیبی با یک دریچهٔ مستطیلی را بررسی کردند و دریافتند که ضریب دبی به‌صورت معکوس متناسب با زاویهٔ سرریز (Θ)، $\frac{d}{h}$، $\frac{y}{h}$ و $\frac{b}{h}$ است ولی مستقیماً به فاصلهٔ بین سرریز و دریچه (y) وابسته است. سامانی و مظاهری (Samani & Mazaheri, 2009) با استفاده از یک روش جدید فیزیکی، هیدرولیک جریان همزمان روی سرریز و زیر دریچه، به‌ویژه رابطهٔ دبی- هد را

www.SID.ir

Archive of SID

با استفاده از یک سری آزمایش روی مدل‌های ترکیبی سرریز و دریچه لبه‌تیز بدون فشردگی جانبی در شرایط استغراق مختلف سرریز تشریح کردند. آنها از معادلهٔ انرژی در واحد زمان بین بالادست و پایین‌دست دریچه و معادلهٔ مومنتوم بین پایین‌دست، درست بعد از دریچه و پایاب حجم کنترل استفاده کردند. با حل همزمان دو معادلهٔ حاصل و با استفاده از تکنیک بهینه‌سازی در استفاده از ضرایب موجود، رابطهٔ دبی- هد به‌دست آمد.

فغفورمغربی و رضایی‌نسب (Faghfour-Maghrebi & Rezaei-Nasab, 2005)، مدل ترکیبی سرریز- دریچهٔ مستطیلی بدون فشردگی را در مجرای دایره‌ای در حالت نیمه‌پر آزمایش کردند و ضریب دبی جریان را به‌کمک آنالیز ابعادی و رگرسیون خطی چندگانه ارائه دادند. مقایسهٔ دبی حاصل از روابط با نتایج آزمایشگاهی نشان‌دهندهٔ خطای متوسط ۱۰ درصد بود. رضویان و حیدرپور (Razavian & Heidarpour, 2007) جریان ترکیبی از روی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و زیر دریچهٔ مستطیلی بدون فشردگی و لبه‌تیز را با نتایج ناشی از تئوری جریان در سیستم سرریز- دریچه بررسی کردند و پس از آن به‌کمک آنالیز ابعادی و با تحلیل آماری روی داده‌ها و رگرسیون چند متغیره خطی، معادله‌ای برای ضریب شدت جریان پیشنهاد دادند. حیدرپور و همکاران (Heidarpour *et al.*, 2014) خصوصیات جریان عبوری را از ترکیب سرریز ذوزنقه‌ای و دریچهٔ کشویی مستطیلی لبه‌تیز در کانال مستطیلی بررسی و ضریب دبی برای جریان ترکیبی را در شرایط مختلف جریان ارائه کردند. سپس با استفاده از تحلیل آماری روی پارامترهای هندسی بدون بعد مؤثر بر جریان، ضریب دبی را برای شرایط مختلف جریان ارائه دادند که توافق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت. قره‌گزلو و همکاران (Gharehgozlu *et al.*, 2013) به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای و نیمه‌استوانه‌ای (در دو حالت انحنا در سمت بالادست و انحنا در پایین‌دست سازه) پرداختند. آزمایش‌ها نشان داد در هر سه حالت با افزایش مقادیر بی‌بعد، نسبت عمق بالادست جریان به‌میزان بازشدگی دریچه $(H\ /\ a)$ و نسبت عمق بالادست جریان به قطر استوانه $(H\ /\ D)$ ضریب دبی افزایش می‌یابد و در هر سه حالت ضریب دبی در محدودهٔ آزمایش‌ها بین ۹۶-۳۸ درصد متغیر است. مسعودیان و همکاران (Masoodian *et al.*, 2014) سازهٔ ترکیبی استوانه‌ای و لبه‌تیز را در شرایط مختلف استغراق آزمودند و نشان دادند که علاوه بر موارد فوق، نسبت عمق پایاب به عمق بالادست نیز روی ضریب دبی مؤثر است. در هر دو مدل ترکیبی، با افزایش میزان استغراق، روند کاهش ضریب دبی نسبی (مستغرق به آزاد) یکسان و در یک مقدار استغراق ثابت، ضریب دبی نسبی هر دو مدل برابر است. مسعودیان و همکاران (Masoodian *et al.*, 2013) نشان دادند که با افزایش H_w/D و H_w/a، ضریب دبی مدل ترکیبی ابتدا کاهش و پس از آن افزایش می‌یابد که Hw، D و a به‌ترتیب برابر با هد آب روی سرریز، قطر سازهٔ ترکیبی و فاصلهٔ بازشدگی دریچه است. اخیراً سلامتی و همکاران (Salamati *et al.*, 2015) از برنامه‌ریزی ژنتیک برای تعیین روابطی با دقت بالا به‌منظور تعیین ضریب آبگذری استفاده کرده‌اند.

در تحقیق حاضر، مدل ترکیبی سرریز- دریچهٔ ذوزنقه‌ای آزمایش شده است؛ این مدل می‌تواند جریان بیشتر را در انتهای کانال باز با مقطع دایره‌ای عبور دهد، طراحی وساخت آن ساده است و تاکنون مطالعه‌ای روی آن نشده است. این سازهٔ ترکیبی را می‌توان در موارد زیر به‌کار برد: کاهش حجم و عمق آبشستگی در پایین‌دست

www.SID.ir

Archive of SID

سرریز، کاهش ابعاد حوضچهٔ آرامش و در نتیجه کاهش هزینه‌ها در پایین‌دست این سازه‌ها، در انواع سدهای تأخیری و در فاضلاب‌روها، کانال‌های انتقال آب در مناطق با اتلاف بالای آب ناشی از تبخیر و تعرق، خروجی منهول‌های دایره ای شبکهٔ آبیاری و زهکشی مزارع، و سنجش حجم آب عبوری.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از ۱۸ عدد مدل ترکیبی سرریز ذوزنقه‌ای- دریچه کشویی، مطابق شکل ۱ استفاده شد. در تمامی مدل‌ها، دریچه از نوع کشوی لبه‌تیز و سرریز به شکل ذوزنقه با فشردگی جانبی با زاویهٔ پخ ۶۰ درجه است. مدل‌های ترکیبی که مشخصات آنها در جدول ۱ آمده است، در انتهای کانال دایره‌ای و در دو شیار موازی قرار داده شدند در حالی‌که به‌صورت کشویی قابلیت جابه‌جایی داشتند. پس از قرارگیری مدل‌های ترکیبی در موقعیت مناسب که بازشدگی آنها از کف کانال دایره‌ای ۲، ۳ و ۴ سانتی‌متر بود، با لاستیک قرار گرفته روی فلنج، آب‌بندی و اطراف مدل‌ها با خمیر پلاستیکی درزگیری شد. دبی جریان با فلومتر دیجیتال اندازه‌گیری و به روش حجمی هم صحت‌سنجی می‌شد. در این بررسی، برای هر استقرار مدل ترکیبی ۷ تا ۱۱ دبی متفاوت (حداقل ۴۰۰ آزمایش) بر اساس ابعاد مدل‌ها و محدودیت کانال دایره‌ای اعمال گردید، به‌طوری‌که در حداکثر دبی، جریان از روی مدل سرریز نکند و در حداقل دبی، تیغه ریزش از روی تاج سرریز با هوادهی کامل و حداقل ضخامت جریان روی تاج ۲۰ میلی‌متر باشد. برای اندازه‌گیری بار آبی از مانومترهای متصل به کف کانال دایره‌ای استفاده شد. آب در سیکل بسته از یک منبع اصلی روزمینی تعبیه شده در زیر کانال، با یک پمپ سانتریفوژ و حداکثر ظرفیت ۱۸ لیتر بر ثانیه پمپاژ و بعد از طی کردن طول مناسبی از لوله وارد فلومتر دیجیتال می‌گردد و از آنجا به مخزن ورودی ابتدای کانال وارد می‌شود. آب سپس با عبور از صافی‌های آرام‌کننده و مشبک وارد کانال می‌گردد. محل اتصال مخزن ورودی به فلوم گوشه‌دار نیست و به‌صورت مدور ساخته شده است تا از افت انرژی ناشی از تغییر شکل ناگهانی مقطع، همچنین از تشکیل امواج سطحی و آشفتگی جریان جلوگیری شود. یک متر ابتدای کانال شن‌ریزی شده تا به تسهیل در توسعه‌یافتگی جریان کمک کند. آب پس از عبور از فلوم به داخل مخزن اندازه‌گیری دبی وارد می‌شود؛ در اینجا ارتفاع آب با پیزومتر نصب شده مشخص و به روش حجم- زمان دبی سنجش می‌گردد. در انتها آب از این مخزن وارد منبع اصلی می‌شود و این چرخه ادامه می‌یابد. از آنجا که مدل‌های هیدرولیکی موردنظر در انتهای کانال دایره‌ای می‌بایست مورد آزمایش قرار می‌گرفتند و این کانال از یک شاخه لوله PVC به قطر داخلی۲۴ سانتی‌متر و طول ۶ متر استفاده گردید که داخل کانال مستطیلی با ابعاد ۷×۰/۳۵×۰/۳۲ متر قرار گرفت.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱- تصویری از مدل آب‌بندی شده در انتهای کانال

جدول ۱- مشخصات مدل‌های مورد آزمایش

مدل	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸
θ (درجه)	۴۵	۶۰	۹۰	۴۵	۶۰	۹۰	۴۵	۶۰	۹۰	۴۵	۶۰	۹۰	۴۵	۶۰	۹۰	۴۵	۶۰	۹۰
L (سانتی‌متر)	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۶	۶	۶	۶	۶	۶	۸	۸	۸	۸	۸	۸
W (سانتی‌متر)	۸	۸	۸	۶	۶	۶	۸	۸	۸	۶	۶	۶	۸	۸	۸	۶	۶	۶

θ= دو برابر زاویه بازشدگی مدل ترکیبی، L= طول تاج و W= ارتفاع مدل ترکیبی (شکل شماتیک ۲).

تئوری جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز ذوزنقه‌ای- دریچه در کانال دایره‌ای

در این بررسی، برای تعیین دبی سرریز و دریچه در کانال دایره‌ای از ترکیب روابط ارائه شده استفاده شد و با فرض یکسان بودن ضریب دبی سرریز و دریچه، ضریب دبی ترکیبی برای مدل ترکیبی به‌دست آمد. برای محاسبهٔ ضریب دبی مدل ترکیبی (Cd)، در ابتدا با استفاده از آنالیز ابعادی، جملات بی‌بعد مؤثر بر این ضریب مشخص و با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS و رگرسیون چند متغیرهٔ خطی رابطه‌ای برای این ضریب ارائه می‌شود که با قرار دادن این ضریب دبی ترکیبی در رابطهٔ دبی ترکیبی، مقدار دبی کل به‌دست می‌آید.

دبی عبوری از روی سرریز لبه‌تیز ذوزنقه‌ای (Q_w) را می‌توان از مجموع دبی یک سرریز مستطیلی و یک سرریز مثلثی و بر اساس فرضیات زیر که برای سرریزهای لبه‌تیز بدون فشردگی با جریان دوبعدی است، به‌صورت رابطه ۱ به‌دست آورد (French, 1987):

- خطوط جریان در مقطع تاج افقی و یکنواخت می‌باشد.
- از افت انرژی روی سرریز صرف‌نظر می‌شود.
- فشار روی تاج سرریز برابر با فشار اتمسفر است.

$$Q_w = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\, Cd_w.\left(L - 0.2\,H\right).H^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15}\sqrt{2g}\, Cd_w.\tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{\frac{5}{2}} \qquad (۱)$$

که در آن،

www.SID.ir

Archive of SID

Cd_w= ضریب دبی سرریز؛ L= طول تاج سرریز؛ Θ= زاویه بازشدگی سرریز و h= عمق جریان روی تاج سرریز مطابق با شکل شماتیک ۲.

دبی عبوری از زیر دریچه از رابطهٔ ۲ به‌دست می‌آید (Hosseini & Abrishami, 2006).

$$Q_g = C_{dg}\sqrt{2gH}A_g \qquad (۲)$$

که در آن،

Q_g= دبی دریچه؛ Ag= مساحت ناحیه بازشدگی مربوط به دریچه و C_{dg}= ضریب دبی دریچه.

اکنون از ترکیب روابط فوق می‌توان دبی خروجی از مدل ترکیبی را به‌صورت رابطه ۳ به‌دست آورد (شکل ۲):

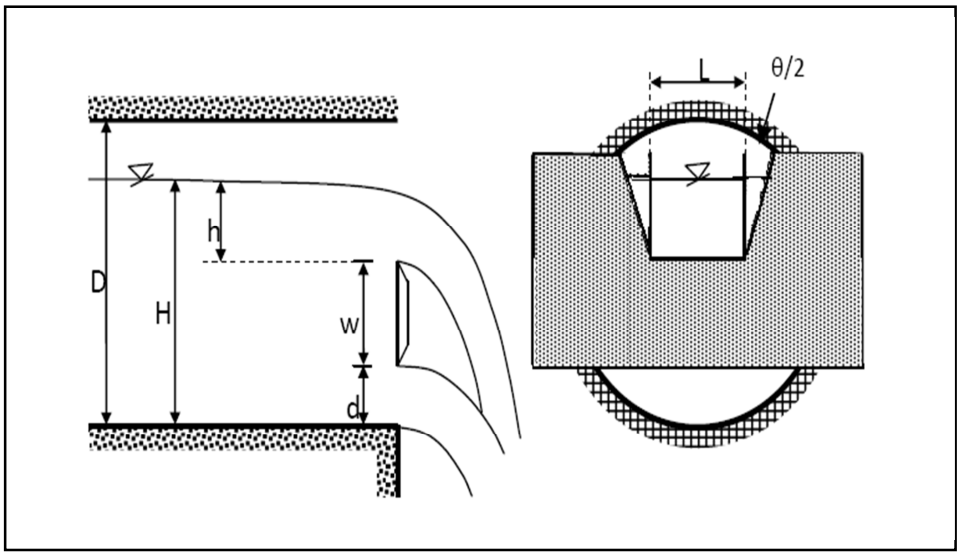
$$Q_{cal} = Q_g + Q_w = Cd_g\sqrt{2gH}\ A_g + \frac{2}{3}\sqrt{2g}\ Cd_w(L - 0.2\,h)h^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15}\sqrt{2g}\ Cd_w(\tan\frac{\theta}{2})\ h^{\frac{5}{2}} \qquad (۳)$$

مساحت ناحیهٔ بازشدگی دریچه از رابطهٔ ۴ به‌دست می‌آید (Hosseini & Abrishami, 2006):

$$A_g = \frac{1}{8}(\theta - \sin\theta)D^2 = \frac{1}{8}((2\cos^{-1}(\frac{\frac{D}{2}-d}{\frac{D}{2}})) - \sin(2\cos^{-1}(\frac{\frac{D}{2}-d}{\frac{D}{2}})))D^2 \qquad (۴)$$

با در نظرگرفتن ضریب دبی یکسان برای سرریز ذوزنقه‌ای و دریچهٔ کشویی (Cd_t)، رابطهٔ ۵ به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Q_{cal} = Cd_t\ (\sqrt{2gH}\ A_g + \frac{2}{3}\sqrt{2g}(L - 0.2\,h)h^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15}\sqrt{2g}(\tan\frac{\theta}{2})\ h^{\frac{5}{2}}) \qquad (۵)$$



شکل ۲- نمای جریان خروجی از مدل ترکیبی در انتهای کانال دایره‌ای

برای تعیین دبی ترکیبی محاسبه‌ای باید ضریب دبی را به‌صورت یک پارامتر وابسته به متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی سیستم جریان تعیین کرد. بدین‌منظور، به‌کمک پارامترهای مؤثر روی جریان ترکیبی مشاهده‌ای و با استفاده از قضیهٔ پی باکینگهام می‌توان دبی ترکیبی واقعی (Q_{cal}) را به‌صورت تابع زیر نوشت (رابطه ۶):

$$Q_{cal} = \emptyset_1(D, H, h, w, d, L, P, \theta, g, \rho, \mu, \sigma) \qquad (۶)$$

www.SID.ir

Archive of SID

که در آن،

Q_{cal} = دبی ترکیبی محاسبه‌ای؛ g= شتاب ثقل؛ μ= لزوجت دینامیکی آب؛ σ= کشش سطحی آب؛ و P= مجموع ارتفاع سرریز (w) و بازشدگی دریچه (d) ($P = w + d$) برای در نظر گرفتن اثر تقابل بین سرریز و دریچهٔ در مدل ترکیبی سرریز- دریچه و دیگر پارامترها در شکل ۲ بیان شده‌اند. در این حالت، دبی ترکیبی واقعی یا مشاهده‌ای وابسته است به ۱۲ پارامتر مستقل با سه بعد اصلی (طول، جرم، زمان) که بر اساس قضیهٔ پی باکینگهام رابطهٔ ۶ را می‌توان به‌صورت پارامترهای بدون بعد نوشت (رابطه ۷):

$$\pi_1 = \emptyset_2(\pi_2, \pi_3, \ldots, \pi_{k-r})$$
$$0 = \emptyset_3(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \ldots, \pi_{10}) \qquad (۷)$$

که در آن،

$\emptyset_2$= علامت تابع؛ k= تعداد کل متغیرها؛ و r= تعداد متغیرهای تکراری.

چنانچه پارامترهای H، ρ و Q_{ca} متغیرهای تکراری در نظر گرفته شود، پس از ترکیب و ساده کردن متغیرهای بدون بعد رابطه ۸ حاصل می‌شود:

$$Cd_{cal} = \emptyset_3(Re, We, {}^{d}/_{H}, {}^{P}/_{H}, {}^{L}/_{H}, {}^{D}/_{H}, {}^{h}/_{H}, {}^{w}/_{H}, {}^{\theta}/_{2}) \qquad (۸)$$

که در آن،

Re= عدد رینولدز؛ و We= عدد وبر جریان داخل کانال؛ و Cd_{cal}= ضریب دبی جریان ترکیبی. از آنجا که جریان داخل کانال آرام نیست، عدد رینولدز در تمامی آزمایش‌ها بالای ۲۰۰۰ است پس می‌توان تأثیر لزوجت در رفتار سیال را نادیده گرفت. چنانچه ارتفاع آب روی سرریز کم باشد، کشش سطحی بر رفتار جریان تأثیر خواهد گذاشت. در مطالعهٔ حاضر حداقل ارتفاع آب روی مدل ترکیبی ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در نتیجه عدد وبر نیز از رابطه فوق حذف می‌گردد و در نهایت رابطهٔ به‌دست آمده پس از تحلیل آماری و سعی و خطا با استفاده از نرم‌افزار SPSS، شامل متغیرهای رابطهٔ ۹ خواهد بود:

$$Cd_{cal} = \emptyset_4({}^{d}/_{D}, {}^{h}/_{d}, {}^{L}/_{D}, {}^{P}/_{H}, {}^{w}/_{D}, {}^{H}/_{D}, {}^{\theta}/_{2}) \qquad (۹)$$

نتایج و بحث

بررسی ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز- دریچه با استفاده از آنالیز ابعادی و نرم‌افزار SPSS

نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز- دریچه ذوزنقه‌ای در کانال دایره‌ای به عواملی در مدل ترکیبی بستگی دارد مانند: زاویهٔ بازشدگی سرریز، نسبت‌های عمق آب در بالادست به قطر کانال دایره‌ای، فاصلهٔ لبهٔ تاج سرریز از کف کانال به عمق جریان در بالادست، بار آبی روی سرریز به بازشدگی دریچه، ارتفاع تاج سرریز به قطر کانال دایره‌ای، طول تاج سرریز در مدل ترکیبی به قطر کانال دایره‌ای، و مقدار بازشدگی دریچه به قطر کانال دایره‌ای. رابطهٔ ۱۰ به‌صورت سعی و خطا و با استفاده از آنالیز ابعادی و رگرسیون چند متغیره خطی به‌منظور برآورد ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز- دریچه ذوزنقه‌ای با ضریب همبستگی (R^2= 0.999) و خطای تخمین استاندارد (SEE= 0.01944) به‌دست آمد (در این رابطه، زاویهٔ بازشدگی سرریز بر حسب رادیان است)..

$$Cd_{cal} = 1.19\left(\frac{H}{D}\right) + 0.943\left(\frac{P}{H}\right) + 0.015\left(\frac{h}{d}\right) - 1.749\left(\frac{W}{D}\right) + 0.116\left(\frac{L}{D}\right) + 0.09\left(\frac{\theta}{2}\right) - 1.852\left(\frac{d}{D}\right) \qquad (۱۰)$$

گفتنی است که رابطهٔ ۱۰ برای تعیین ضریب دبی ترکیبی سرریز- دریچه ذوزنقه‌ای در انتهای کانال دایره‌ای با شیب بسیار کم و قابل صرف‌نظر کردن ۰/۰۰۲۹ و در محدودهٔ پارامترهای بدون بعد جدول ۲ صادق خواهد بود.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- محدودهٔ پارامترهای مورد استفاده در رابطهٔ ۱۰

پارامتر بدون بعد	محدوده
H/D	۰/۳۹۶ تا ۰/۸۷۵
P/H	۰/۴۵۲ تا ۰/۸۹۶
h/d	۰/۳۵ تا ۴/۸۵
W/D	۰/۲۵، ۰/۳۳
L/D	۰/۲۵، ۰/۳۳، ۰/۱۶۷
θ	(۴۵، ۶۰، ۹۰) درجه
d/D	۰/۰۸۳، ۰/۱۶۷، ۰/۱۲۵

دامنهٔ پارامترهای مورد استفاده با توجه به محدودیت ابعاد مدل‌های ترکیبی مورد آزمایش، ابعاد فلوم آزمایشگاهی و محدودهٔ دبی‌های انتخابی برای هر مدل ترکیبی تعیین شد. در رابطهٔ ۱۰، ضریب β برای پارامترهای بدون بعد $\frac{H}{D}$، $\frac{P}{H}$، $\frac{h}{d}$، $\frac{W}{D}$، $\frac{L}{D}$، $\frac{\theta}{2}$ و $\frac{d}{D}$ به‌ترتیب برابر است با ۱/۰۲۷، ۰/۸۲۷، ۰/۰۴۶، ۰/۶۷۹-، ۰/۰۴، ۰/۰۶۸ و ۰/۳۱۵- که نشان می‌دهد در برآورد ضریب دبی توسط رابطهٔ ذکر شده، بیشترین تأثیر را از لحاظ عددی پارامتر $\frac{H}{D}$ و کمترین تأثیر را پارامتر $\frac{L}{D}$ می‌گذارد (رابطهٔ ۱۱).

$$E_i = \frac{(Q_i)_{cal} - (Q_i)_{exp}}{(Q_i)_{exp}} \times 100 \qquad (۱۱)$$

که در آن،

E_i= درصد خطای نسبی دبی iام؛ $(Qi)_{cal}$= دبی iام محاسبه شده توسط مدل؛ و $(Qi)_{exp}$= دبی iام مشاهده شده آزمایشگاهی.

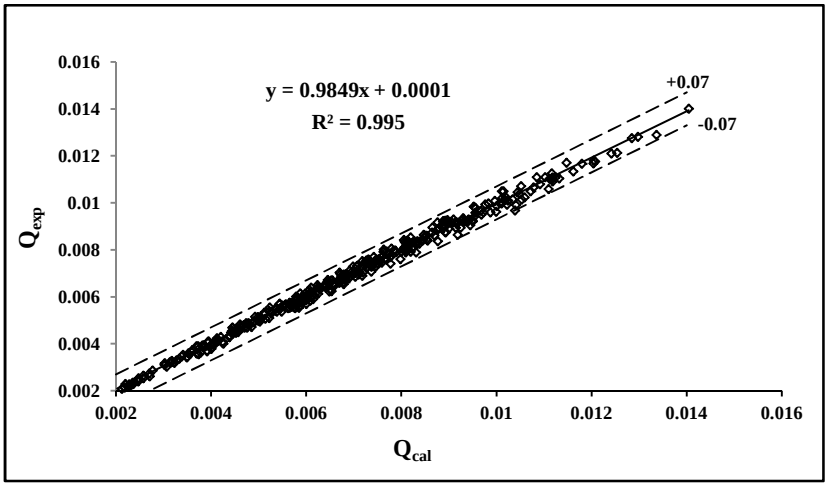
با استفاده از روابط ۱۲ و ۱۳، میزان خطای محاسبه شده در حدود ۵/۷۵۷- تا ۷/۲۷ درصد با متوسط ۰/۱۶- درصد و واریانس ۲/۵ است که نشان می‌دهد رابطهٔ پیشنهادی برازش مناسبی با نتایج آزمایشگاهی دارد.

$$\overline{\mathrm{E}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} E_i \qquad (۱۲)$$

$$S^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(E_i - \bar{E})^2 \qquad (۱۳)$$

که در آنها،

$\overline{\mathrm{E}}$= میانگین خطاها؛ و S^2= واریانس خطاها.



شکل ۳- مقایسهٔ دبی مشاهده‌ای در برابر دبی ترکیبی محاسبه شده بر اساس رابطهٔ ۱۰

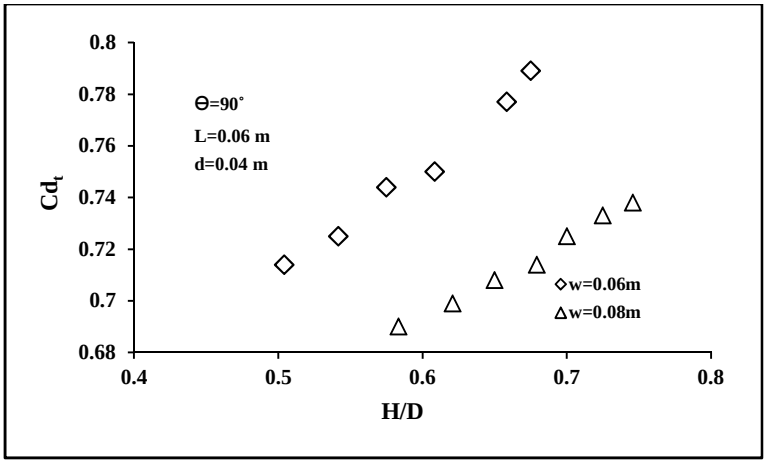
www.SID.ir

Archive of SID

در شکل‌های ۴ تا ۸، تغییرات ضریب دبی ترکیبی واقعی در برابر نسبت بدون بعد ارتفاع آب در بالادست مدل به قطر کانال دایره‌ای نسبت به پارامترهای مؤثر در تعیین آن و در تأیید معادله استخراجی، به‌صورت خلاصه آورده شده است:

شکل ۴، تغییرات ضریب دبی ترکیبی را در مقابل نسبت بدون بعد ارتفاع آب در بالادست مدل به قطر کانال دایره‌ای برای ارتفاعات مختلف تاج سرریز در مدل ترکیبی نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، برای یک مدل ترکیبی با زاویهٔ بازشدگی برابر ۹۰ درجه با کاهش ارتفاع تاج در یک نسبت بی‌بعد عمق جریان در بالادست به قطر کانال دایره‌ای ثابت، طول تاج سرریز ۶ سانتی‌متر و عمق بازشدگی ۴ سانتی‌متر، ضریب دبی ترکیبی افزایش می‌یابد، زیرا با کاهش ارتفاع سازه امکان عبور جریانِ بیشتر، افزایش می‌یابد و در نتیجه ضریب دبی نیز افزایش خواهد یافت. تغییرات ضریب دبی ترکیبی در مقابل نسبت بدون بعد ارتفاع آب در بالادست مدل به قطر کانال دایره‌ای برای زاویه‌های مختلف بازشدگی سرریز در مدل ترکیبی در شکل ۵ نشان داده شده است. دیده می‌شود که با افزایش زاویهٔ بازشدگی در یک نسبت بی‌بعد عمق جریان در بالادست به قطر کانال دایره‌ای ثابت برای یک مدل ترکیبی با زاویهٔ بازشدگی برابر ۹۰ درجه، طول تاج و ارتفاع تاج سرریز ۶ سانتی‌متر و عمق بازشدگی ۴ سانتی‌متر، ضریب دبی ترکیبی افزایش می‌یابد. دلیل این وضع را می‌توان این‌گونه بیان کرد که با افزایش زاویهٔ بازشدگی سرریز از ۶۰ به ۹۰ درجه، امکان عبور جریانِ بیشتر، افزایش می‌یابد و در نتیجه ضریب دبی نیز افزایش خواهد یافت. تغییرات ضریب دبی برای زاویهٔ ۴۵ و ۶۰ درجه بر هم منطبق است.

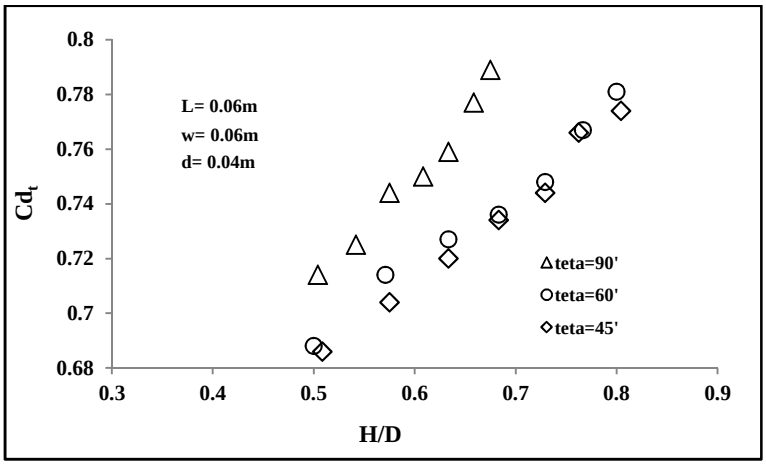
شکل ۶ تغییرات ضریب دبی ترکیبی را در مقابل نسبت بدون بعد ارتفاع آب در بالادست مدل به قطر کانال دایره‌ای برای طول تاج‌های مختلف سرریز در مدل ترکیبی نشان می‌دهد. در اینجا، با افزایش طول تاج در یک نسبت بی‌بعد عمق جریان در بالادست به قطر کانال دایره‌ای ثابت برای یک مدل ترکیبی با زاویهٔ بازشدگی برابر ۹۰ درجه، ارتفاع تاج ۶ سانتی‌متر و عمق بازشدگی ۴ سانتی‌متر، ضریب دبی ترکیبی به‌علت امکان عبور جریان بیشتر از مدل ترکیبی افزایش می‌یابد. تغییرات ضریب دبی برای طول تاج ۶ و ۸ سانتی‌متر تقریبا بر هم منطبق هستند.



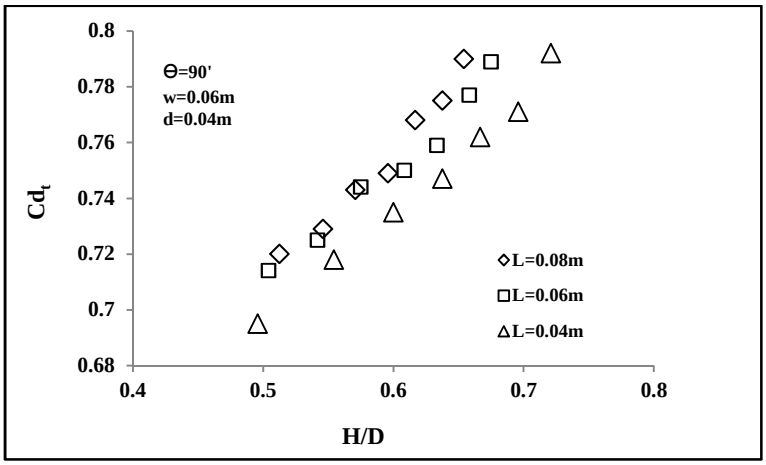
شکل ٤- تغییرات ضریب دبی در برابر نسبت بی‌بعد ارتفاع آب بالادست مدل به قطر کانال نسبت به پارامتر ارتفاع تاج سرریز

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ٥- تغییرات ضریب دبی در برابر نسبت بی‌بعد ارتفاع آب بالادست مدل به قطر کانال نسبت به پارامتر زاویه بازشدگی سرریز



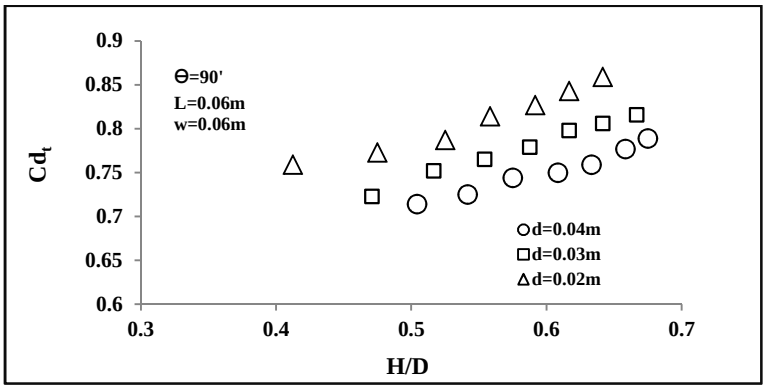
شکل ٦- تغییرات ضریب دبی در برابر نسبت بی‌بعد ارتفاع آب بالادست مدل به قطر کانال نسبت به پارامتر طول تاج سرریز

در شکل ۷ تغییرات ضریب دبی ترکیبی در مقابل نسبت بدون بعد ارتفاع آب در بالادست مدل به قطر کانال دایره‌ای برای مقدار بازشدگی‌های مختلف دریچه در مدل ترکیبی نشان داده شده است. با توجه به این شکل، با کاهش مقدار بازشدگی دریچه در یک نسبت بی‌بعد عمق جریان در بالادست به قطر کانال دایره‌ای ثابت برای یک مدل ترکیبی با زاویهٔ بازشدگی برابر ۹۰ درجه، طول و ارتفاع تاج ۶ سانتی‌متر، ضریب دبی ترکیبی به‌علت امکان عبور جریان بیشتر از روی سرریز، افزایش می‌یابد.

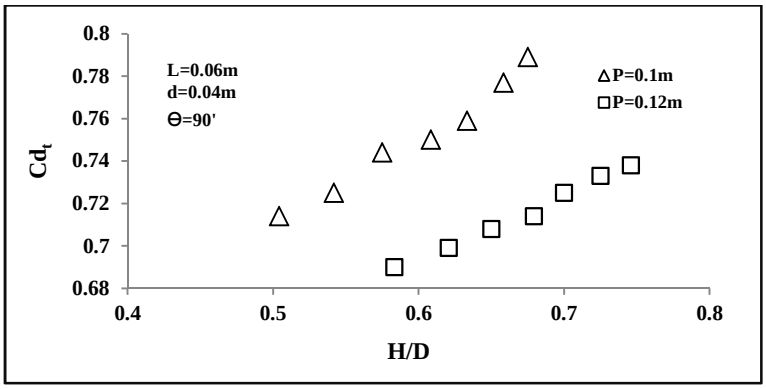
شکل ۸ تغییرات ضریب دبی ترکیبی را در مقابل نسبت بدون بعد ارتفاع آب در بالادست مدل به قطر کانال دایره‌ای برای مقادیر مختلف پارامتر P در مدل ترکیبی نشان می‌دهد. این شکل همچنین نشان می‌دهد که با کاهش مقدار پارامتر P در یک نسبت بی‌بعد عمق جریان در بالادست به قطر کانال دایره‌ای ثابت برای یک مدل ترکیبی با زاویهٔ بازشدگی برابر ۹۰ درجه، طول تاج ۶ سانتی‌متر و عمق بازشدگی ۴ سانتی‌متر، ضریب دبی ترکیبی به‌علت امکان عبور جریان بیشتر از روی سرریز، افزایش می‌یابد. یادآوری می‌شود که پارامتر P برای در نظر گرفتن اثر تقابل سرریز و دریچه در سازهٔ ترکیبی به‌کار برده شده و برابر است با مجموع عمق بازشدگی دریچه و ارتفاع سرریز.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷- تغییرات ضریب دبی در برابر نسبت بی‌بعد ارتفاع آب بالادست مدل به قطر کانال نسبت به پارامتر مقدار بازشدگی دریچه



شکل ۸- تغییرات ضریب دبی در برابر نسبت بی‌بعد ارتفاع آب بالادست مدل به قطر کانال نسبت به پارامتر P

جدول ۳- مقایسهٔ محدودهٔ ضریب دبی به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج تحقیقات سایر محققان

محقق	موضوع	محدودهٔ آزمایش	نتیجه
نجم و همکاران (Negm *et al.*, 2002)	بررسی جریان ترکیبی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و دریچهٔ مستطیلی با فشردگی جانبی	$2.5 < H/a < 7.6$ $0.647 < b/a < 5$ $0.473 < y/a < 4$	محدودهٔ ضریب دبی: $0.51 < C_d < 0.68$
رضویان و حیدرپور (Razavian & Heidarpour, 2007)	بررسی جریان ترکیبی از روی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و زیر دریچهٔ مستطیلی بدون فشردگی و لبه‌تیز	$3 < H/a < 7$ $2 < b/a < 4.5$ $1.5 < y/a < 2.67$	محدودهٔ ضریب دبی: $0.55 < C_d < 0.61$
حیدرپور و همکاران (Heidarpour *et al.*, 2014)	بررسی جریان ترکیبی از سرریز ذوزنقه‌ای و دریچهٔ مستطیلی در کانال مستطیلی در شرایط جریان آزاد و مستغرق	$1.25 < y/d < 4$ $0.125 < b/B < 0.5$ $\theta = 45, 60, 90$	محدودهٔ ضریب دبی برای جریان آزاد: $0.56 < C_d < 0.62$
قره‌گزلو و همکاران، (Gharehgozlu *et al.*, 2013)	بررسی ضریب دبی جریان سرریز- دریچهٔ استوانه‌ای و سرریز- دریچهٔ نیم‌استوانه‌ای	$5.5 < H/a < 13$ (در انهار کوچک)	محدودهٔ ضریب دبی: $0.36 < C_d < 0.96$
مسعودیان و همکاران (Masoodian *et al.*, 2014)	مطالعهٔ ضریب بده سرریز- دریچه استوانه‌ای و تعیین رابطه آن با ضریب بده دریچه و سرریز جداگانه	$5.5 < H/a < 16$ (در کانال بزرگ)	محدودهٔ ضریب دبی: $0.75 < C_d < 1.05$
پژوهش حاضر	بررسی جریان ترکیبی از سرریز ذوزنقه‌ای و دریچه کشویی در کانال دایره‌ای	$0.083 < d/D < 0.167$ $0.167 < L/D < 0.33$ $0.25 < y/D < 0.33$ $\theta = 45, 60, 90$	محدودهٔ ضریب دبی: $0.68 < C_d < 0.86$

H: ارتفاع آب بالادست، **y**: ارتفاع سازه، **a**: میزان بازشدگی دریچه، **L**: عرض ذوزنقه، **θ**: بازشدگی سرریز ذوزنقه‌ای، **B**: عرض کانال مستطیلی و **D**: قطر کانال دایره‌ای

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

مقایسهٔ ضریب دبی مدل ترکیبی در مطالعه حاضر نشان می‌دهد، مقدار ضریب دبی متوسط مدل سرریز- دریچه ذوزنقه‌ای در کانال دایره‌ای برابر با ۰/۷۵۶ و بزرگتر از ضریب دبی همان مدل ترکیبی در کانال مستطیلی است که دلیل آن را می‌توان به همگرایی بیشتر خطوط جریان درکانال دایره‌ای و افت انرژی کمتر ربط داد. همچنین سیستم سرریز- دریچه موجب اصلاح خطوط جریان می‌شود، شرایط جریان را به‌حالت تئوریک نزدیکتر می‌کند، و در نتیجه کالیبراسیون ضریب شدت جریان سیستم سرریز- دریچه و تخمین دبی جریان نسبت به سرریزهای معمولی دقیق‌تر خواهد بود.

خلاصهٔ نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به شرح زیر است:

- با فرض یکسان بودن ضرایب دبی سرریز و دریچه در مدل ترکیبی سرریز- دریچهٔ ذوزنقه‌ای لبه‌تیز، با افزایش نسبت بی‌بعد شده عمق جریان در بالادست مدل به بازشدگی دریچه ($\frac{H}{d}$)، ضریب دبی مدل ترکیبی به‌دلیل افزایش حجم جریان عبوری از مدل، افزایش می‌یابد.
- به دلیل افزایش سهم دریچه در عبور جریان اضافی از زیر دریچه و نزدیک‌شدن ضریب دبی ترکیبی به ضریب دبی دریچه که مقداری کمتر را داراست، با افزایش مقدار بازشدگی دریچه، ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز- دریچه کاهش می‌یابد.
- در یک نسبت عمق آب به بازشدگی دریچه ثابت با افزایش زاویه بازشدگی سرریز به دلیل عبور جریان بیشتر و تجمع کمتر جریان در پشت مدل ترکیبی، ضریب دبی ترکیبی افزایش می‌یابد.
- مقدار بازشدگی دریچه بیش از مقدار زاویه بازشدگی سرریز و مقدار طول سرریز روی ضریب دبی ترکیبی تأثیر می‌گذارد.
- با افزایش طول تاج سرریز در مدل ترکیبی، مقدار ضریب دبی ترکیبی افزایش می‌یابد.
- تحلیل آماری روی داده‌ها با استفاده از آنالیز ابعادی و نرم‌افزار SPSS نشان می‌دهد که ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز- دریچهٔ ذوزنقه‌ای داخل کانال دایره‌ای به عواملی چند بستگی دارد ازجمله: زاویهٔ بازشدگی سرریز در مدل ترکیبی، نسبت عمق آب در بالادست به قطرکانال دایره‌ای، نسبت فاصلهٔ لبهٔ تاج سرریز از کف کانال به عمق جریان در بالادست، نسبت بار آبی روی سرریز به بازشدگی دریچه، نسبت ارتفاع تاج سرریز به قطر کانال دایره‌ای، نسبت طول تاج سرریز در مدل ترکیبی به قطر کانال دایره‌ای، و نسبت مقدار بازشدگی دریچه به قطر کانال دایره‌ای.

قدردانی

از همکاری‌های مسئولان آزمایشگاه هیدرولیک دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان و آقایان مهندس محمدمهدی قره‌داغی و مهندس هادی حسن‌زاده قدردانی می‌نماییم.

مراجع

Ahmed, F. H. 1985. Characteristics of discharge of combined flow through sluice gate and over weirs. J. Eng. Technol. Iraq. 3, 49-63.

Alhamid, A. A. 1999. Analysis and formulation of flow through combined v-notch-gate-device. J. Hydraul. Res. 37, 697-705.

www.SID.ir

Archive of SID

Alhamid, A. A., Husain, D. and Negm, A. M. 1996. Discharge equation for simultaneous flow over rectangular weirs and below inverted triangular weirs. Arab Gulf J. Sci. Res. 14, 595-607.

Alhamid, A. A., Negm, A. M. and Al-brahim, A. M. 1997. Discharge equation for proposed self-cleaning device. J. King Saud Uni. Eng. Sci. 9(1); 13-24.

Faghfour-Maghrebi, M. and Rezaei-Nasab, M. S. 2005. Estimation of discharge in Circular Sewage crossing using the combination model of Weir-Gate. J. Water Wastewater. 6, 55-60. (in Persian)

Ferro, V. 2000. Simultaneous flow over and under a gate. J. Irrig. Drain. E-ASCE. 126, 190-193.

French, R. H. 1987. Open Channel Hydraulic. McGraw-Hill.

Gharehgozlu, M., Masoodian, M., Salehi-Neishapuri, S. A. A., Naderi, F. and Suri, A. 2013. Experimental investigation of discharge coefficient in combined model of cylindrical weir-gate in small channels. J. Soil Water Conserv. 20(1): 198-185. (in Persian)

Hayawi, H. A., Yahia, A. A. and Hayawi, Gh. A. 2008. Free combined flow over a triangular weir and under rectangular gate. Damascus Univ. J. 24, 9-22.

Heidarpour, M., Razavian, S. H. and Hosseini, Y. 2014. Study of simultaneous flow over sharp-crested trapezoidal weir and below sluice gate. J. Water Soil Sci. (Sci. Technol. Agric. Nat. Resour.) 18(68): 155-147. (in Persian)

Hosseini, M. and Abrishami, J. 2006. Hydraulic of the Open Channels. 15th Ed. Astan-e-Quds Razavi Pub. (in Persian)

Masoodian, M., Fenderski, R. and Gharehgozlu, M. 2013. Study of discharge coefficient cylindrical weir-gate and determination of its relationship with discharge coefficient of weir and gate separately. Water Resour. Eng. J. 6, 62-51. (in Persian)

Masoodian, M., Gharehgozlu, M., Fenderski, R. and Naderi, F. 2014. Experimental investigation of passage flow from submerged cylindrical weir-gate in small channels. J. Soil Water Conserv. 2(3): 235-221. (in Persian)

Negm, A. M. 2002. Discussion of analysis and formulation of flow through combined V-Notch-Gate-Device. J. Hydraul. Res. 40, 755-765.

Negm, A. M., Al-brahim, A. M. and Alhamid, A. A. 2002. Combined-free flow over weirs and below gates. J. Hydraul. Res. 40, 359-365.

Razavian, S. H. and Heidarpour, M. 2007. Investigation of characteristics of the combined flow through a sharp rectangular weir with compressed and below a sharp rectangular weir without compaction. Proceeding of the Ninth National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration. Jan. 4-5. Shahid Bahonar University. Kerman. Iran. (in Persian)

Salamati, S., Dehghani, A. A., Meftah-Halaghi, M. and Zahiri, A. R. 2015. Estimation of discharge coefficient of combined weir-gate structure by genetic programming. J. Water Soil Conserv. 22(2): 255-263. (in Persian)

Samani, J. M. V. and Mazaheri, M. 2009. Combined flow over weir and under gate. J. Hydraul. Eng-ASCE. 135, 224-227.

www.SID.ir

Archive of SID

Irrigation and Drainage Structures Engineering Research/Vol.17/No.67/2017/P:33-46

Investigation on Simultaneous Flow under a Sluice Gate and over a Trapezoidal Weir in a Circular Channel

M. Pashazadeh*, M. Heidarpour, S. H. Saghaiian-Nejad and S. H. Razavian

* Corresponding Author: M. Sc. in Irrigation and Drainage Engineering, Isfahan University of Technology, Esfahan, Iran. Email: pashazade1387@yahoo.com
Received: 12 July 2016, Accepted: 5 November 2016

Sharp crested weirs and sluice gates, because of their ease of making, water surface control potential and flow rate capabilities measuring have been broadly studied. Since the nature of flow on the weirs is highly complicated, mostly the driven equations are taken in to account a series of simplified hypothesis that are bases of empirical experiments. On the other hand most of the weirs cause a relatively calm zone of water on their upstream, which is a place of waste material and sediments to precipitate that is the disadvantage of the device. With gradual storage of sediments, the condition of flow changed and driven equations will lose their precision. In this case composition of weir and gate can be a useful solution for passage of floating materials over the weir and transmission of sediment materials from the lower part of the gate. In this study, hydraulic characteristics of the 18 combined model of trapezoidal weir-gate in the tree groups with three different opening gates at the end of an open channel with a circular cross section were studied. Using dimensional analysis, analytical solutions and statistical analysis, an equation for combined discharge by combined model of weir-gate was introduced and was evaluated by experimental data. The Results showed that the obtained discharge coefficient have a good agreement with experimental data.

Keywords: Combined Model of Trapezoidal Weir-Gate, Dimensional Analysis, Discharge Coefficient.

www.SID.ir