مجله پژوهش آب ایران
سال هفتم/ شماره سیزدهم/ پاییز و زمستان ۱۳۹۲ (۱۴۹-۱۵۵)

تعیین ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز نیم‌دایره‌ای و دریچه کشویی در کانال دایره‌ای

منوچهر حیدرپور[۱*]، سید حسین رضویان[۲] و یاسین حسینی[۳]

چکیده

سازه‌ها و روش‌های زیادی برای اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌های آبیاری وجود دارد که در بین آن‌ها سرریزهای لبه تیز و دریچه‌های کشویی کاربرد بیشتری دارند. برای کاهش نقاط ضعف سرریز و دریچه، آن‌ها می‌توانند در یک سازه هیدرولیکی با هم ترکیب شده و ترکیبی از جریان روی سرریز و زیر دریچه را از خود عبور دهند. در این مطالعه، خصوصیات مدل هیدرولیکی سرریز- دریچه نظیر ضریب دبی جریان و پارامترهای مؤثر بر جریان ترکیبی بررسی شد. ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از تئوری جریان در سیستم که تابع برخی از پارامترهای هندسی و هیدرولیکی جریان است تجزیه و تحلیل شده و با استفاده از تحلیل آماری داده‌ها یک معادله برای ضریب دبی در حالت ترکیبی ارایه شد. خطای ناشی از به کارگیری این معادله برای ۹۵ درصد داده‌ها ۲/۵± درصد است.

واژه‌های کلیدی: دریچه کشویی، سرریز نیم‌دایره‌ای، ضریب دبی، کانال دایره‌ای.

ارجاع: حیدرپور م. رضویان س. ح. و حسینی ی. ۱۳۹۲. تعیین ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز نیم‌دایره‌ای و دریچه کشویی در کانال دایره‌ای. مجله پژوهش آب ایران. ۷(۱۳):۱۴۹-۱۵۵.

Archive of SID

۱- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آب ، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
*** نویسنده مسئول: heidar@cc.iut.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۵/۲۷

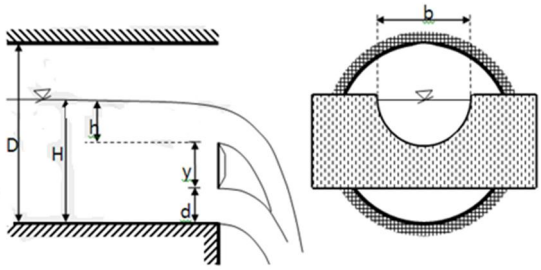
www.SID.ir

مقدمه

سرریزهای لبه‌تیز و دریچه‌های کشویی از نظر راحتی ساخت، قابلیت کنترل سطح آب و اندازه‌گیری شدت جریان، همیشه مورد توجه بوده و مطالعات گسترده‌ای روی آن‌ها انجام شده است. از عیب‌های اغلب سرریزها وجود منطقه‌ای با آب نسبتاً ساکن است که می‌تواند محلی برای ته‌نشینی رسوبات و مواد زاید موجود در آب باشد. با انباشته شدن رسوبات در بالادست، شرایط جریان تغییر یافته و معادلات استخراج شده دقت خود را از دست می‌هند. در این مورد ترکیب سرریز با دریچه می‌تواند به عنوان یک راه حل مفید بیان شود (رضویان، ۱۳۸۶؛ کیندزواتر و کارتر، ۱۹۵۷؛ راجاراتنام و سابرامانیا، ۱۹۶۷).

در مورد ضریب دبی جریان عبوری از سیستم ترکیبی سرریز- دریچه در کانال‌های مستطیلی مطالعات زیادی انجام شده است. سازه‌های ترکیبی برای اولین بار توسط احمد (۱۹۸۵) معرفی شدند. وی مطالعاتش را روی یک مدل ترکیبی سرریز مستطیلی بالای یک دریچه مستطیلی بدون فشردگی منتشر کرد. او تلاش کرد یک ضریب دبی معمول برای سیستم مرکب و یک نتیجه کلی و عمومی به دست آورد. اما چون داده‌هایش کافی نبود به این هدف نرسید. پژوهش‌های بیشتر را می‌توان در مطالعات نجم و همکاران (۱۹۹۴) و نجم (۱۹۹۵) جستجو نمود. در این مطالعات اثر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر جریان ترکیبی از روی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و دریچه مثلثی با زاویه رأس ۴۵ تا ۱۱۰ درجه و نیز جریان ترکیبی از سرریز دریچه مستطیلی با فشردگی جانبی متفاوت در حالت آزاد مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین الحمید و همکاران (۱۹۹۶) جریان آزاد از روی مدل ترکیبی سرریز مثلثی و دریچه مستطیلی را مورد بررسی قرار دادند و برای تحلیل جریان، کل مدل را به عنوان دریچه فرض نموده و به جای ضریب دبی دریچه، از ضریب دبی ترکیبی سرریز- دریچه استفاده نمودند. نجم (۲۰۰۲) اثر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی را روی شدت جریان ترکیبی بحث کرد و معادله پیش‌بینی دبی همزمان بدون بعد از سرریز و دریچه را توسعه داد. معادله بر اساس استفاده از یک فاکتور، اثر متقابل جریان زیری و رویی مدل ترکیبی را با استفاده از معادلات سرریز و دریچه، تحت هر دو شرایط جریان آزاد و مستغرق بیان می‌کند. او نشان داد که پیش‌بینی‌های مدل پیشنهادی با یک انحراف کمتر از ۵± درصد برای حدود ۹۰ درصد داده‌ها به خوبی هماهنگی دارد. همچنین او از شبکه عصبی برای توسعه مدل پیش‌بینی دبی ترکیبی استفاده کرد و نتیجه گرفت که نتایج مدل شبکه عصبی مصنوعی توسعه یافته کمی بهتر از معادله بدون بعد پیش‌بینی دبی همزمان و آن هم بهتر از مدل‌های رگرسیونی درمواقع بحرانی می‌تواند به ارزیابی دبی ترکیبی بپردازد. جمال و همکاران (۲۰۰۹) از یک روش جدید بر پایه فیزیک برای تعیین معادله بین دبی- اشل جریان مرکب از بالای سرریز و زیردریچه در شرایط نیمه‌مستغرق و کاملاً مستغرق استفاده کردند. روش کار بر اساس اصول هیدرولیکی ساده‌ای است و مدل‌ها به خوبی با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت دارند. در مورد مطالعات انجام شده در کانال دایره‌ای می‌توان به مطالعات فغفور مغربی و رضایی نسب (۱۳۸۴) بر روی مدل ترکیبی سرریز دریچه مستطیلی بدون فشردگی در مجرای دایره‌ای در حالت نیمه‌پر اشاره کرد در این مطالعات دبی ترکیبی، برابر مجموع دبی سرریز و دریچه منظور شده و معادله ضریب دبی جریان به کمک آنالیز ابعادی و رگرسیون خطی چندگانه ارایه شده است.

هدف از این پژوهش، مطالعه و بررسی ضریب شدت جریان مدل ترکیبی سرریز لبه تیز نیم‌دایره‌ای و دریچه کشویی نصب شده در انتهای یک کانال نیم‌دایره‌ای است (شکل ۱).



شکل ۱- شماتیک جریان از روی مدل ترکیبی سرریز نیم‌دایره‌ای و دریچه در مجرای دایره‌ای

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از فلوم آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی اصفهان با مشخصات به شرح ذیل استفاده شد:

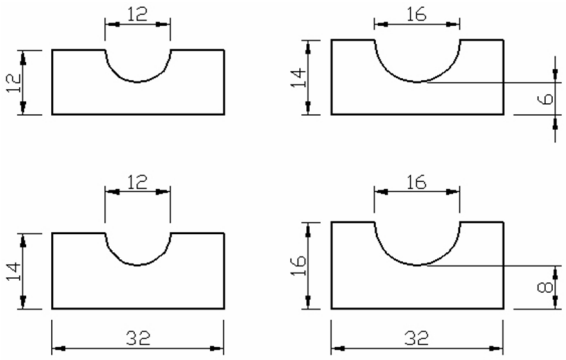
- طول کانال ۷ متر
- عرض کانال ۰/۳۲ متر
- ارتفاع کانال ۰/۳۵ متر
- حداکثر دبی ۱۶/۴ لیتر در ثانیه

Archive of SID

www.SID.ir

کانال با مقطع مستطیلی بوده و دیواره و کف آن از جنس پلاکسی‌گلاس شفاف است. آب در سیکل بسته از یک منبع اصلی روزمینی تعبیه شده در زیر کانال با دو عدد پمپ سانتریفیوژ پمپاژ شده و بعد از عبور از شیرهای فلکه‌ای تنظیم کننده با یک سه راهی تجمع یافته و بعد از طی کردن طول مناسبی از لوله وارد دبی‌سنج توربینی شده و از آنجا به مخزن ورودی ابتدای کانال وارد می‌شود. سپس با عبور از صافی‌های آرام کننده و مشبک وارد فلوم می‌شود.

برای ساخت و نصب کانال دایره‌ای با توجه به محدودیت عرض و طول کانال، یک شاخه لوله پی‌وی‌سی به قطر داخلی ۲۴۰ میلی‌متر و طول ۶ متر استفاده شد و داخل کانال مستطیلی قرار گرفت. برای قسمت ورودی کانال دایره‌ای (که یک تغییر مقطع مستطیلی به دایره‌ای انجام می‌شود) از یک صفحه پلی‌اتیلن به ابعاد کانال مستطیلی استفاده شد که به اندازه دهانه لوله در آن برش ایجاد شده بود. این صفحه در دهانه لوله قرار گرفته و با چسب آکواریوم به طور کامل در جای خود ثابت و درزگیری شد. از آنجا که هدف، استقرار مدل‌ها به صورت انتهایی و ریزش آزاد آب از روی آن‌ها بود و برای این که حرکت و جابجایی مدل‌ها به سهولت و در کمترین زمان انجام شود ایده استفاده از شیارهای موازی که مدل‌ها بتوانند به صورت کشویی در آن حرکت کنند به عنوان بهترین گزینه مطرح شد و برای نیل به مقصود یک عدد فلنج پلی‌اتیلنی با سایز ۲۵۰ میلی‌متر به انتهای لوله با استفاده از چسب مخصوص وصل شد. سپس دو تکه پلی‌اتیلن شیار زده شده و با فاصله‌های مناسب، جای پیچ رزوه شده و از قبل آماده شده بود با فاصله حدود ۳۲ سانتی‌متر از هم و به صورت کاملاً موازی و عمود بر کف مجرا روی فلنج نصب شد. برای برداشت سطح آب در کانال تعداد ۱۵ عدد پیزومتر از جنس پی‌وی‌سی ساخته شد و با فواصل ۴، ۷، ۱۱، ۱۶، ۲۰، ۲۴، ۳۰، ۳۶، ۴۴، ۵۲، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰و۱۲۰ سانتی‌متر از انتهای فلنج در زیر لوله نصب شد. در نصب آن‌ها دقت زیادی شد تا از بروز خطاهای احتمالی جلوگیری شود. پس از قرار دادن مجرای دایره‌ای در داخل کانال مستطیلی قسمت ورودی مجرا که در فاصله یک متری ابتدای کانال قرار داده شده و اطراف آن با چسب آکواریوم درزگیری و آب‌بندی شد. یک متر ابتدای مجرای دایره‌ای به وسیله موکت با الیاف پلی‌استر برجسته پوشانده شد تا با ایجاد زبری بیشتر به توسعه یافتگی جریان کمک کند. در نهایت مجرای دایره‌ای هم به وسیله دوربین نقشه‌برداری با تغییر دادن شیب کانال اصلی برای شیب صفر تراز شد. جنس کلیه مدل‌ها به علت سهولت در برش و ساخت از پلاکسی‌گلاس شفاف بوده و برای داشتن مقاومت کافی در برابر جریان ضخامت ۱۰ میلی‌متر انتخاب شد و از آنجا که هدف ساخت مقاطع از نوع لبه تیز بود کلیه لبه‌ها پخ ۶۰ درجه زده شده و ضخامت در لبه به حدود ۱/۵ میلی‌متر رسید. برای انجام آزمایش تعداد ۴ مدل آزمایشگاهی ساخته شد (شکل ۲).



شکل۲- مدل‌های ساخته شده برای سرریز نیم‌دایره‌ای با فشردگی جانبی و دریچه (ابعاد سانتی‌متر)

در تمامی مدل‌ها دریچه از نوع کشویی لبه تیز با زاویه پخ ۶۰ درجه و بدون فشردگی بوده و سرریز نیز از نوع لبه تیز نیم دایره با فشردگی جانبی و زاویه پخ ۶۰ درجه بوده است. این آزمایش‌ها برای بازشدگی دریچه ۳۰ و ۴۰ میلی‌متری نسبت به کف کانال و فاصله مسدود بین سرریز و دریچه (۶۰ و ۸۰ میلی‌متر) با میزان دبی‌های مختلف بین ۳ تا ۱۲ لیتر بر ثانیه انجام شد.

مبانی تئوری

در این پژوهش از ترکیب معادلات متداول ارایه شده برای اندازه‌گیری دبی سرریز و دریچه در کانال دایره‌ای استفاده شده و با فرض این که ضریب دبی برای سرریز و دریچه برابر است، این ضریب برای مدل ترکیبی هم استفاده می‌شود.

برای به دست آوردن دبی عبوری از زیر دریچه کشویی در حالتی که به صورت انتهایی کار گذاشته شده و ریزش آزاد در اتمسفر داشته باشد (شکل ۳) می‌توان از معادله ۴ استفاده کرد که این معادله به صورت زیر به دست می‌آید.

فرضیه‌های مورد استفاده:

Archive of SID

www.SID.ir

- فشار در خروجی دریچه برابر فشار اتمسفر است.
- جریان به صورت دایمی و غیرقابل تراکم است.
- از افت انرژی در طول مسیر صرف‌نظر می‌شود.

می‌توان معادله انرژی را برای مقطع بالادست دریچه و زیر دریچه به صورت زیر نوشت (حسینی و ابریشمی ۱۳۸۴):

$$z_1+\frac{v_1^2}{2g}+\frac{p_1}{\gamma}=z_2+\frac{v_2^2}{2g}+\frac{p_2}{\gamma} \qquad (۱)$$

با توجه به این که کانال به صورت افقی است و با صرف‌نظر کردن از سرعت در مقطع بالادست و با در نظر گرفتن فرضیه‌های ذکر شده معادله بالا به صورت ساده زیر در می‌آید:

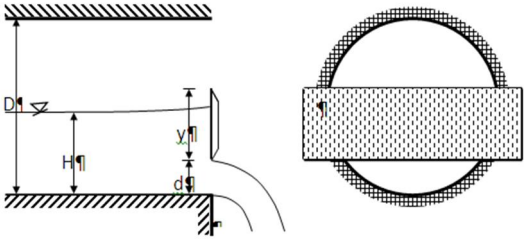
$$H=\frac{v_2^2}{2g} \qquad (۲)$$

با در نظر گرفتن معادله پیوستگی دبی عبوری از دریچه برای حالت ذکر شده با معادله زیر به دست می‌آید (راجاراتنام، ۱۹۷۷):

$$Q=\sqrt{2gH}\,A_g \qquad (۳)$$

در معادله بالا A_g مساحت قسمت باز شدگی مربوط به دریچه است و با توجه به فرضیه‌های در نظر گرفته شده میزان دبی به دست آمده از معادله با دبی مشاهده شده آزمایشگاهی متفاوت خواهد بود که برای کاهش آن از ضریب دبی دریچه استفاده می‌شود و معادله به صورت زیر اصلاح می‌شود (سوامی ۱۹۹۲):

$$Q=C_{dg}\sqrt{2gH}\,A_g \qquad (۴)$$



شکل ۳- نمای ریزش آب از زیر دریچه نصب شده در انتهای مجرای دایره‌ای

برای به دست آوردن دبی عبوری از سرریز لبه تیز نیم‌دایره‌ای فرض کرده که دبی عبوری از روی سرریز بحرانی بوده و عمق آب روی سرریز بحرانی است پس معادله زیر برقرار است (سوامی ۱۹۸۸):

$$\frac{Q_w^{\,2}}{g}=\frac{A_w^{\,2}}{T} \qquad (۵)$$

در معادله بالا Q_w دبی عبوری از سرریز، A_w مساحت عبور جریان از روی سرریز و T عرض سطح آزاد جریان روی سرریز است. دبی به دست آمده از روش بالا به خاطر فرض کردن برقراری عمق بحرانی روی سرریز نیاز به اصلاح دارد که بدین منظور از ضریب دبی استفاده شده و معادله دبی ترکیبی به صورت زیر می‌شود:

$$Q_w=C_{dw}\sqrt{\frac{A_w^3 g}{T}} \qquad (۶)$$

دبی عبوری از دریچه نیز از معادله ۴ استخراج می‌شود که با ترکیب آن‌ها و در نظر گرفتن ضریب دبی ثابت برای سرریز و دریچه معادله زیر به دست می‌آید:

$$Q=c_d\left(\sqrt{gA_w^3/T}+\sqrt{2gH}\,A_g\right) \qquad (۷)$$

ضریب دبی ترکیبی را می‌توان وابسته به متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی زیر نوشت (فرو ۲۰۰۰):

$$c_d=f_1(D,H,d,y,b,\rho,v,\mu,\sigma) \qquad (۸)$$

در معادله بالا ρ جرم مخصوص آب، v سرعت آب، μ لزجت دینامیکی، σ کشش سطحی و بقیه پارامترها در شکل ۱ آمده است. با استفاده از آنالیز ابعادی و قضیه π باکینگهام می‌توان C_d را تابعی از متغیرهای بدون بعد زیر در نظر گرفت.

$$c_d=f_2\left(\frac{H}{D},\frac{y}{d},\frac{d}{D},\frac{b}{d},R_e,W_e\right) \qquad (۹)$$

در معادله بالا R_e عدد بدون بعد رینولدز است که بیانگر نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت است و تنها برای بازشدگی‌های خیلی باریک و برای حالت‌هایی که عدد رینولدز جریان پایین است اثر خود را نشان می‌دهد پس از تأثیر آن چشم‌پوشی شد. W_e عدد بدون بعد وبر است که نشان دهنده نسبت نیروی اینرسی به نیروی کشش سطحی است و در صورتی که تیغه آب دارای ضخامت کافی باشد اثر آن ناچیز می‌شود پس از این پارامتر نیز صرف‌نظر می‌شود (رضویان، ۱۳۸۶ و نجم، ۲۰۰۲).

نتایج و بحث

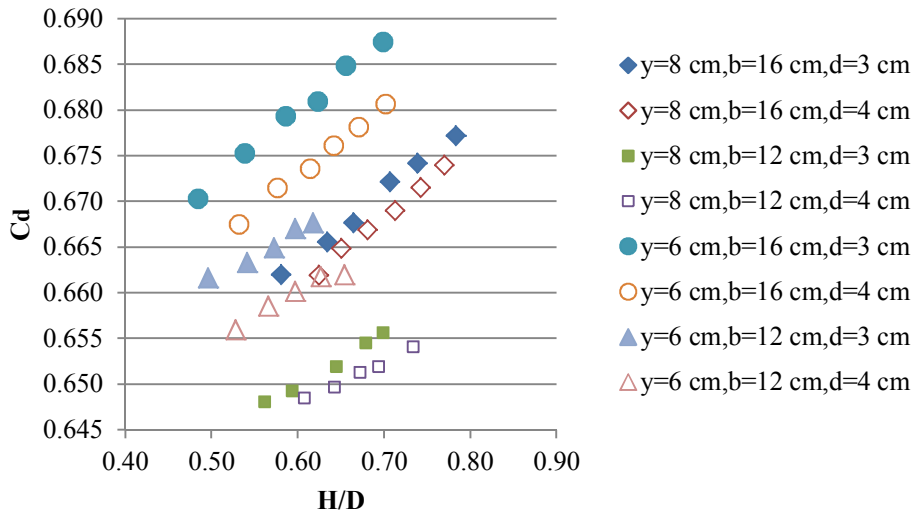
برای تعیین معادله ضریب دبی در مدل‌های تعبیه شده در کانال دایره‌ای از ترکیب معادلات متداول ارایه شده برای اندازه‌گیری دبی سرریز و دریچه در کانال دایره‌ای استفاده شده و با فرض این که ضریب دبی برای سرریز و دریچه برابر است، این ضریب برای مدل ترکیبی هم استفاده می‌شود و به کمک آنالیز ابعادی جملات بی‌بعد مؤثر روی

Archive of SID

www.SID.ir

این ضریب مشخص شده و با استفاده از رگرسیون‌گیری چند متغیره خطی معادله‌ای برای آن حاصل می‌شود و با قرار دادن C_d در معادله دبی ترکیبی، مقدار دبی به دست می‌آید. در نهایت مقادیر دبی به دست آمده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده و میزان خطای تخمین دبی تعیین می‌شود.

میزان بازشدگی دریچه d، ارتفاع سرریز- دریچه y، قطر سرریز b و قطر لوله D که در معادلات مختلف آزمایش و تأثیر آن‌ها بررسی شد، به عنوان پارامترهای هندسی انتخاب شدند. آنگاه ضریب تخلیه C_d با استفاده از معادله ۷ و برداشت‌های آزمایشگاهی محاسبه شد. در شکل ۴ مقادیر C_d بر حسب H/D برای میزان بازشدگی‌های مختلف دریچه ترسیم شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار H/D مقدار C_d نیز افزایش می‌یابد. اگر همه پارامترها ثابت فرض شود دیده می‌شود که با افزایش مقدار H، C_d نیز افزایش می‌یابد، که بیانگر آن است که با افزایش مقدار دبی C_d نیز افزایش می‌یابد (آزمایش‌ها در محدوده H/D کمتر از یک انجام شده است). همچنین اگر ارتفاع سرریز- دریچه y و قطر سرریز b ثابت فرض شود، با افزایش میزان بازشدگی دریچه ضریب دبی کاهش می‌یابد. با ثابت فرض کردن مقدار بازشدگی دریچه d و ارتفاع سرریز- دریچه y با افزایش قطر سرریز میزان ضریب دبی نیز افزایش می‌یابد. با افزایش مقدار y و ثابت بودن دیگر پارامترها میزان ضریب دبی کاهش می‌یابد.



شکل ۴- تغییرات ضریب دبی به عنوان تابعی از پارامترهای هندسی

پس از مشخص شدن جمله‌های بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی با استفاده از نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS و رگرسیون‌گیری چند متغیره خطی بین جمله‌های بی‌بعد، معادله زیر برای ضریب دبی ترکیبی با ضریب همبستگی R^2=۰/۹۶ و خطای تخمین استاندارد SEE=۰/۰۰۹۴ حاصل می‌شود.

$$c_d = 0.142\left(\frac{H}{D}\right) - 0.044\left(\frac{H}{b}\right) - 0.024\left(\frac{y}{d}\right) - 0.475\left(\frac{d}{D}\right) + 0.745 \qquad (۱۰)$$

میزان درصد خطای نسبی برآورد دبی‌ها با معادله ۱۱ محاسبه شده و میانگین خطاها توسط معادله ۱۲ به دست آمد.

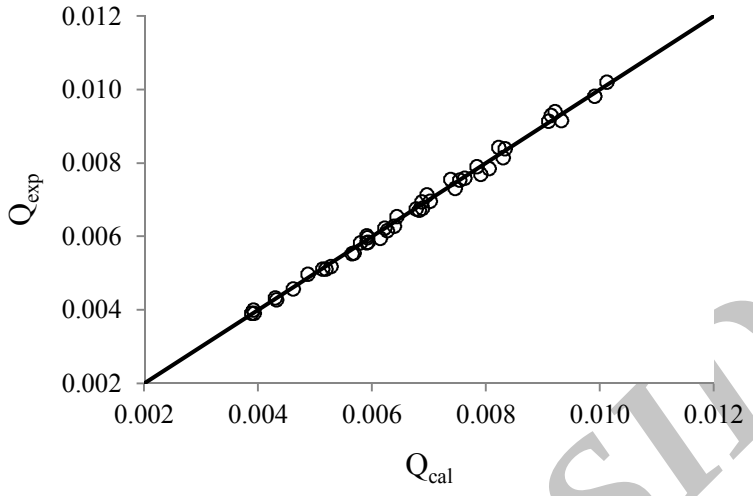
$$E_i = \frac{(Q_i)_{cal} - (Q_i)_{\exp}}{(Q_i)_{\exp}} \times 100 \qquad (۱۱)$$

در معادله بالا E_i درصد خطای نسبی دبی iام، $(Q_i)_{cal}$ در معادله بالا E_i درصد خطای نسبی دبی iام، $(Q_i)_{cal}$ دبی iام محاسبه شده با مدل و $(Q_i)_{exp}$ دبی iام مشاهده شده آزمایشگاهی است.

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

www.SID.ir

دبی ترکیبی با جای‌گذاری مقادیر ضریب دبی که برای این مدل در محدوده ۰/۶۴ تا ۰/۷ با متوسط ۰/۶۷ متغیر است، در معادله ۱۰ به دست می‌آید. با مقایسه آن‌ها با مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی (شکل ۵) خطای تخمین دبی در محدوده ۲/۶۰- تا ۳/۰۷ با متوسط ۰/۰۲ و واریانس ۲/۵۱ درصد به دست آمد و خطای اندازه‌گیری دبی با این روش در بازه ۹۵٪ اطمینان به حدود ۲/۵۰± درصد محدود خواهد شد.



شکل ۵- مقادیر دبی آزمایشگاهی در برابر دبی به دست آمده برای سرریز نیم‌دایره‌ای و دریچه کشویی

آنالیز حساسیت

برای بررسی تأثیر هر یک از پارامترهای مؤثر بر Cd، مقدار Cd و خطای مطلق با حذف هر یک از پارامترهای مؤثر بررسی شد. همان گونه که در جدول ۱ دیده می‌شود با حذف پارامتر بدون بعد H/D مقدار Cd کمتر از مقدار واقعی محاسبه شده است و میانگین خطای ایجاد شده ۱۳/۰۶۵- درصد است که بیان کننده آن است که این پارامتر مهم ترین پارامتر مؤثر در تعیین مقدار Cd است.

جدول ۱- تأثیر پارامترهای مختلف در تعیین مقدار Cd

	مقدار Cd با کلیه پارامترهای مؤثر	مقدار Cd بدون H/D	مقدار Cd بدون H/b	مقدار Cd بدون y/d	مقدار Cd بدون d/D
MAX(E)	۳/۰۷	-۹/۴۳	۱۱/۹۴۶	۱۲/۷۷	۱۵/۱۲
MIN(E)	-۲/۶	-۱۷/۵۴	۲/۸۷	۳/۸۸	۶/۷
AVE(E)	۰/۰۲	-۱۳/۰۶۵	۷/۶۹۵	۷/۸۳	۱۰/۸۸
MAX(Cd)	۰/۶۴	۰/۶۰۵۷	۰/۷۳۷	۰/۷۴۵	۰/۷۶
MIN(Cd)	۰/۷	۰/۵۵۳۳	۰/۷۰۱	۰/۶۹۴	۰/۷۱
AVE(Cd)	۰/۶۷	۰/۵۷۸۷	۰/۷۱۷	۰/۷۱۸	۰/۷۳۸

نتیجه‌گیری

در هر استقرار مدل با افزایش دبی ارتفاع آب در بالادست مدل افزایش پیدا کرده و مقدار ضریب دبی نیز افزوده می‌شود.

برای هر یک از مدل‌های ترکیبی سرریز نیم‌دایره‌ای با دریچه کشویی فشرده شده در شرایط دبی ثابت با افزایش میزان بازشدگی دریچه مقدار ضریب دبی کاهش پیدا کرده و در صورت ثابت بودن دبی و میزان بازشدگی دریچه، با افزایش مقدار y ضریب دبی کاهش جزیی پیدا می‌کند.

بررسی درصد خطای نسبی در مدل‌های مختلف مورد آزمایش در این مقطع نشان می‌دهد تطابق مناسبی بین مقادیر به دست آمده از معادلات ارایه شده و مشاهده‌های آزمایشگاهی وجود داشته و خطای ارایه شده برای تمام مدل‌ها در حد قابل قبول است.

منابع

۱. حسینی م. و ابریشمی ج. ۱۳۸۴. هیدرولیک کانال‌های باز. مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. ۶۱۳ ص.

Archive of SID

www.SID.ir

۲. رضویان س. ح. ۱۳۸۶. بررسی خصوصیات هیدرولیکی مدل ترکیبی سرریز- دریچه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان ۱۰۱ ص.

۳. فغفور مغربی م. و رضایی‌نسب م. س. ۱۳۸۴. برآورد دبی فاضلاب روهای مدور با استفاده از مدل ترکیبی سرریز- دریچه، فصلنامه علمی- پژوهشی آب و فاضلاب. ۵۵:۶۰-۶۸.

4. Ahmed F. H. 1985. Characteristics of discharge of the combined flow through sluice gates and over weirs. Journal Engineering and Technology. Iraq. 3(2)49-63
5. Alhamid A. A. Husain D. and Negm A. M. 1996. Discharge equation for combined flow over rectangular weir and below inverted triangular gates. Arab Gulf Journal for Scientific Research. 14(39):595-607.
6. Ferro V. 2000. Simultaneous Flow over and under gate. Journal Irrigation and Drainage Engineering. 126(3):190-193.
7. Jamal M. Samani V. and Mazaheri M. 2009. Combined flow over weir and under gate. Journal Hydraulic Engineering (ASCE). 135(3):12-19.
8. Kindsvater C. E. and Carter R. W. 1957. Discharge characteristics of thin plate weirs. J. Hydraulic Eng-ASCE. 83(HY6):31-36.
9. Negm A. M. El-Saiad A. A. Al hamid A. A. and Husain D. 1994. Characteristics of simultaneous flow over weir and below Inverted V-Notches. Civil Engineering Research Magazine (CERM), Al-Azhar university, Cairo, Egypt. 16(9):786-799.
10. Negm A. M. 1995. Characteristics of combined flow over weirs under gate with unequal contractions. In advances in Hydro-science and Engineering CHES & IRTCE, Editors, vol. II, Part A, proc. 2nd. Int. Conf. On Hydro science, and Engineering, ICHE- 95, Tsighua University Press, Beijing, China. 285-292.
11. Negm A. M. 2002. Combined free flow over weir and below gates. Journal Hydraulic Research. 40(3):359-365.
12. Rajaratnam. N. 1977. Free flow immediately below sluice gates. Journal of Hydraulic Engineering (ASCE). 103(HY4):345-351.
13. Rajaratnam N. and Subramaniya K. 1967. Flow equation for sluice gates. Journal Irrigation and Drainage (ASCE). 93(IR3):167-186.
14. Swamee P. K. 1992. Sluice gate Discharge Equations. Journal Irrigation and Drainage (ASCE). 118:57-60.
15. Swamee P. K. 1988. Generalized rectangular weirs equations. Journal of Hydraulic Engineering (ASCE). 114(8):945-949.

Archive of SID

www.SID.ir