

مطالعه آزمایشگاهی ضریب تخلیه مکانی دبی در سرریزهای جانبی لبه پهن

فیاض آقاییاری^۱ و *تورج هنر^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد بخش آب دانشگاه شیراز، آستادیار بخش آب دانشگاه شیراز

تاریخ دریافت: ۸۵/۱۱/۴؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۳/۲۷

چکیده

سرریزهای جانبی از جمله سازه‌هایی هستند که به‌طور گسترده‌ای در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و تصفیه فاضلاب استفاده می‌گردند. جریان ایجاد شده در کانال اصلی در حاشیه سرریزهای جانبی از نوع جریان متغیر مکانی همراه با کاهش دبی می‌باشد. در پژوهش حاضر تأثیر ارتفاع و پهنای تاج سرریز جانبی بر تغییرات ضریب تخلیه مکانی دبی در جریان‌های زیربحرانی، برای شرایط مختلف جریان در کانال‌های منشوری مستطیلی بررسی گردید. بررسی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که تغییرات ضریب تخلیه در حالت با کنترل در پایین دست کانال اصلی، تابعی از نسبت عمق آب روی تاج سرریز در انتهای سرریز به طول سرریز و نسبت فاصله از ابتدای سرریز به طول سرریز می‌باشد. همچنین، تغییرات ضریب تخلیه در حالت بدون کنترل در پایین دست تابعی از نسبت پهنای تاج سرریز به عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی، نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب کانال در ابتدای سرریز جانبی و نسبت فاصله از ابتدای سرریز به عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی به‌دست آمد. علاوه بر این، مدلی ارائه گردید که می‌تواند در شرایط جریان زیر بحرانی ضریب تخلیه مکانی را پیش‌بینی نماید. در نهایت، مدل ارائه شده با داده‌های حاصل از پژوهش‌های قبلی مورد ارزیابی و آزمون قرار گرفت. نتایج نشان داد که تخمین دبی سرریزجانبی با خطای نسبی کمتر از ده درصد از همخوانی مناسبی برخوردار است. همچنین، مقایسه مدل موردنظر (تغییرات ضریب تخلیه مکانی) با نتایج روش کلی نشان می‌دهد که این روش از دقت بیشتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: سرریزهای جانبی، تغییرات ضریب تخلیه مکانی دبی، جریان‌های متغیر مکانی

مقدمه

اخیراً در علم مهندسی آب پیشرفت‌های سریعی در امر محاسبات دقیق صورت گرفته است. با پیشرفت در این امور هزینه‌ها به سمت حداقل و دقت پروژه‌ها به سمت حداکثر میل می‌نماید. تخمین میزان دبی عبوری در علوم آب از مهمترین و شاید پیچیده‌ترین مباحث می‌باشد، زیرا

میزان دبی عبوری با عوامل مختلفی از قبیل شیب، زبری، سطح مقطع، رسوب و سایر مسائل ارتباط دارد. بنابراین، لازم است که در تأسیسات مختلف انتقال و توزیع آب تخمین دقیقتری از دبی عبوری انجام گیرد.

به‌منظور آنگیری از کانال اصلی (در پروژه‌های آبیاری، زهکشی، پخش سیلاب و...) احتیاج به تأسیساتی از جمله سرریزهای جانبی می‌باشد. سرریزهای جانبی در چند دهه اخیر به شکل‌های مختلف ساخته شده که هر کدام

(۱۹۵۷)، ال خشاب و اسمیت (۱۹۷۶)، کالینگ (۱۹۵۷)، فریزر (۱۹۵۷)، سوپرامانیا و آواستی (۱۹۷۲)، یوماز و اسمیت (۱۹۹۱) و هیگر (۱۹۹۴) را نام برد.

در پروژه‌های آبیاری سرریزهای جانبی لبه پهن به‌عنوان کنترل‌کننده تراز آب در سازه‌های توزیع‌کننده بیشتر استفاده می‌شوند. به هر حال در رابطه با سرریزهای جانبی لبه‌پهن با وجود اهمیت بسیار زیاد آن، توجه کمتری نسبت به تحقیق در خصوص ضریب آبدهی شده است. رانگاراچو و همکاران (۱۹۷۹) ضریب دبی سرریز جانبی لبه‌پهن مستطیلی را تابعی از عدد فرود کانال اصلی و نسبت عمق آب بالای تاج سرریز به پهنای تاج سرریز به‌صورت رابطه ۱ ارائه نمودند:

$$Cd = (0.81 - 0.60F_{ru}) \left[0.80 + 0.10 \frac{Y_1 - P}{L} \right] \quad (1)$$

که در آن F_{ru} عدد فرود کانال اصلی، $Y_1 - P$ عمق آب در بالای تاج سرریز جانبی و در وسط کانال اصلی و L پهنای تاج سرریز جانبی می‌باشد.

لازم به ذکر است که ضریب تخلیه در طول سرریز متغیر می‌باشد. مطالعات صورت گرفته بر روی ضریب تخلیه سرریزهای جانبی به‌صورت المانی^۱ بسیار اندک است که در این خصوص منظور از مطالعه المانی، بررسی تغییرات ضریب تخلیه مکانی دبی در طول سرریز جانبی می‌باشد. همچنین براساس مطالعات سوامی و همکاران (۱۹۹۴) ضریب آبدهی المانی سرریز جانبی (C_{de}) به‌صورت تابعی از عمق آب به ارتفاع سرریز در سرریزهای لبه‌تیز و در سرریزهای لبه‌پهن تابعی از عمق آب و عرض لبه سرریز می‌باشد. سوامی (۱۹۸۸) نیز معادله‌ای برای محاسبه ضریب آبدهی در سرریزهای جانبی لبه‌پهن به شکل زیر ارائه نمود:

$$C_{de} = K_6 + K_7 \left(\frac{\eta_L^{K_8} + K_9 \eta_L^{K_{10}}}{1 + K_{11} \eta_L^{K_{12}}} \right) + K_{13} \quad (2)$$

در این رابطه $\eta_L = \frac{Y - W}{L}$ که در آن W ارتفاع سرریز، Y عمق آب کانال و L پهنای تاج سرریز و ضرائب $K_6 - K_{13}$

هیدرولیک خاص خود را دارند. در این میان سرریزهای مستطیلی مورد استفاده بیشتری دارند. اساس و اصول استفاده از این نوع سازه بدین‌گونه می‌باشد که این تأسیسات در کناره‌های کانال اصلی و در ابتدای کانال جانبی ساخته شده و جریان بر روی آنها به‌صورت آزاد صورت می‌گیرد. جریان بر روی این سرریزها هنگامی برقرار می‌شود که سطح آب در کانال اصلی بالاتر از رقوم تاج سرریز مربوطه باشد. خصوصیات مربوط به سرریزهای جانبی ایجاب می‌نماید که از این سرریز در امور مهندسی سازه‌های آبی استفاده‌های متعددی به‌خصوص در زمینه آبیاری، زهکشی، کنترل سیلاب، بهداشت محیط و حفاظت محیط زیست به‌عمل آید. با توجه به اهمیت کنترل و ذخیره سیلاب در حوزه‌های آبریز مختلف و ضرورت پخش سیلاب بر روی خطوط هم‌تراز از طریق سرریزهای جانبی، امروزه این سازه مورد توجه طراحان و مهندسين قرار گرفته است. بدیهی است که اگر تخمین دقیقی از شدت جریان، روی سرریزهای جانبی وجود داشته باشد کمک شایانی به طراحی دقیق طول، ارتفاع و شیب جانبی سرریزها خواهد شد.

در طرح‌های آبیاری برآورد کمتر از شدت جریان باعث به هدر رفتن آب و برآورد زیادتر، باعث عدم تکافوی آب آبیاری می‌گردد. برای برآورد شدت جریان در سرریزهای جانبی، تعیین ضریب شدت جریان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

تاکنون راه‌حل تحلیلی کامل و ساده‌ای برای تعیین روابط حاکم بر سرریزهای جانبی ارائه نگردیده است و صرفاً روش‌های تقریبی براساس آزمایش‌های انجام شده در محدوده خاصی از تعدادی متغیر پیشنهاد گردیده است که در بیشتر موارد این روش‌ها در محاسبه دبی سرریز با خطای زیادی همراه می‌باشد. جریان در سرریزهای جانبی، تاکنون موضوع بررسی بسیاری از پژوهش‌ها در گذشته بوده است. با مرور بر این تحقیقات می‌توان نتیجه‌گیری کرد که اکثر محققین بر روی سرریزهای جانبی لبه تیز تحقیق کرده‌اند که از آن جمله می‌توان ایکرز

جانبی را به حوضچه انتهایی منتقل می‌کرد. همچنین، در این تحقیق با سه اندازه مختلف برای ارتفاع تاج سرریز و سه اندازه مختلف برای پهنای تاج سرریز مطابق جدول ۱، آزمایش‌ها انجام گرفت. از دو سرریز مثلثی شکل^۱ ۹۰ درجه کالیبره شده، واقع در حوضچه انتهایی، دبی کانال اصلی و فرعی (آب تخلیه شده توسط سرریز جانبی) تعیین و در هر آزمایش با توجه به نوسانات اندک دبی از میانگین آنها در محاسبات استفاده گردید.

در هر آزمایش عمق و سرعت آب در طول سرریز در داخل کانال اصلی و همچنین بر روی سرریز جانبی در هر المان به منظور تغییرات دبی مکانی (Q_{We}) اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری عمق آب توسط عمق سنج نقطه‌ای^۲ با دقت ۰/۱ میلی‌متر و اندازه‌گیری سرعت آب توسط دستگاه سرعت‌سنج یک بعدی الکترومغناطیسی^۳ مدل LP1100 با دقت ۰/۱ سانتی‌متر بر ثانیه صورت گرفت. در این پژوهش آزمایش‌ها به دو دسته، با کنترل در پایین دست (انتها نیمه‌بسته) و بدون کنترل در پایین دست (انتها باز) تقسیم گردید. محدوده متغیرهای استفاده شده در آزمایش‌ها برابر جدول ۱ می‌باشد. نمای پلان و مقطع سرریز جانبی به صورت شکل‌های ۱ و ۲ است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌گردد در جریان‌های زیربحرانی مطابق معادله حاکم بر جریان، نیمرخ سطح آب در طول کانال اصلی در محدوده سرریز جانبی افزایش می‌یابد در صورتی که در حالت جریان‌های فوق بحرانی عکس این حالت اتفاق می‌افتد (هندرسون، ۱۹۶۶).

K_{13} مقادیر ثابت می‌باشد. در این بررسی فقط یک حالت برای متغیرهای ارتفاع و پهنای تاج سرریز در نظر گرفته شده است که برای بحث و بررسی بیشتر ضریب دبی نیاز می‌باشد تا حالت و تکرارهای بیشتری از متغیرهای مؤثر همانند ارتفاع و پهنای تاج سرریز مدنظر قرار گیرد.

در این مطالعه ضریب تخلیه در سرریزهای جانبی تخت لبه‌پهن به صورت المانی در کانال‌های مستطیلی از طریق ساخت یک مدل فیزیکی و انجام آزمایش‌هایی بر اساس حل عددی معادلات دیفرانسیل دبی و عمق بررسی گردید. هدف اصلی در این تحقیق بررسی و تعیین تغییرات ضریب تخلیه مکانی دبی به صورت المانی در سرریزهای جانبی تخت لبه‌پهن در کانال‌های مستطیلی با شیب ملایم و جریان زیر بحرانی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مطالعه آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک بخش آب دانشگاه شیراز انجام گرفت. آزمایش در یک کانال مستطیلی به عرض ۰/۵۰ متر و عمق ۰/۴۰ متر با شیب کف ۰/۰۰۳ اجرا شد. طول کانال اصلی ۱۵ متر بود و محل کارگذاری سرریز جانبی در وسط کانال اصلی در نظر گرفته شد. در ابتدای کانال اصلی یک شبکه فلزی به منظور آرام و منظم نمودن خطوط جریان تعبیه گردید تا در طول سرریز همواره جریانی آرام عبور نماید. به موازات کانال اصلی یک کانال فرعی به طول ۸ متر، عرض و عمق ۰/۴ متر آب تخلیه شده توسط سرریز

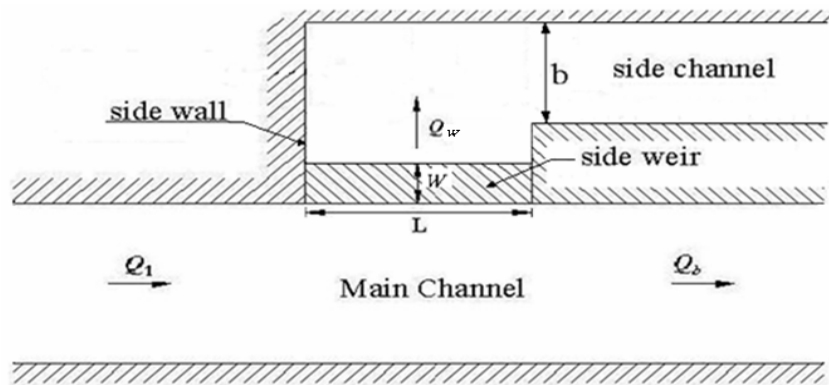
جدول ۱- محدوده مقادیر مختلف متغیرهای استفاده شده در آزمایش‌ها.

متغیر	طول سرریز (متر)	ارتفاع سرریز (متر)	شیب کف کانال (درصد)	دبی ورودی (لیتر بر ثانیه)	عدد فرود بالادست	پهنای تاج سرریز (متر)	تعداد المان
مقدار	۱	۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵	۰/۳	۱۵-۴۵	۰/۱-۰/۷	۰/۰۵، ۰/۱۰، ۰/۱۵	۵

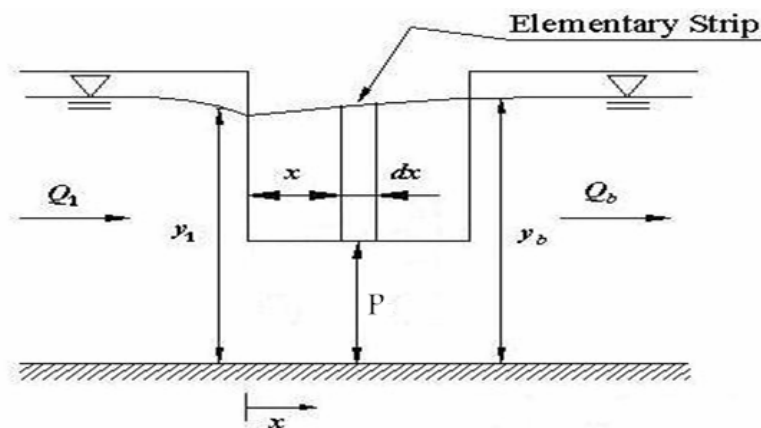
1- V-notch

2- Point gauge

3- Electromagnetic Current Meter



شکل ۱- نمای پلان از سرریز جانبی.



شکل ۲- نمای مقطع از سرریز جانبی.

در تحقیق حاضر ضریب دبی به صورت المانی (C_{de}) مورد بررسی قرار گرفته شده است. در این خصوص با استفاده از روش آنالیز ابعادی و ارائه متغیرهای بدون بعد عوامل مؤثر بر رفتار و روابط حاکم بر سرریزهای جانبی بررسی گردید. پس از تعیین متغیرهای بدون بعد، متغیرهای مؤثر توسط روش رگرسیون گام به گام انتخاب گردیدند. در این روش متغیرهای بدون بعد که سطح احتمال آنها در آزمون تی^۱ کمتر یا برابر سطح معنی دار ۰/۱ باشد وارد مدل، و مقادیر با سطح معنی دار ۰/۲ از مدل خارج می‌شوند (جابسون، ۱۹۹۱). در این مرحله توسط ماتریس همبستگی^۲ و عامل تورم واریانس^۳، میزان

جریان آب بر بالای سرریز جانبی یک مورد خاص از جریان متغیر مکانی با کاهش دبی است. معادله‌های دیفرانسیلی حاکم بر این نوع جریان با در نظر گرفتن ضریب انرژی برابر یک عبارتند از (هندرسون، ۱۹۶۶):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \frac{Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx}}{1 - \frac{Q^2 T}{gA^3}} \quad (3)$$

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g(Y-P)}^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

در این روابط:

S_0 : شیب کف کانال، S_f : شیب اصطکاکی، Q : دبی کانال، Y : عمق آب در داخل کانال، P : ارتفاع سرریز جانبی، C_d : ضریب دبی، g : شتاب ثقل، A : سطح مقطع جریان، T : عرض سطح آب.

- 1- T-test
- 2- Correlation matrix
- 3- Variance inflation factor

هم‌راستایی^۱ بررسی، و انتخاب متغیر بدون بعد براساس بررسی ماتریس هم‌بستگی و عامل تورم واریانس و استفاده از نرم‌افزار برازش داده^۲ نگارش ۸ انجام گردید. با مشخص شدن متغیرهای بدون بعد مؤثر، مدل مناسب براساس حداقل مقدار مجموع مربعات باقی‌مانده^۳ انتخاب گردید.

نتایج و بحث

در هر گروه از محاسبات معادله‌های ۳ و ۴ با روش حل عددی رانج کوتا مرتبه چهار و با در نظر گرفتن مقادیر اولیه $Q = Q_b$ و $y = y_b$ و $x = b$ ، حل گردید. مقادیر Q_b و y_b به ترتیب برابر عمق و دبی در مقطع پایین دست (انتهای سرریز جانبی) می‌باشد. با اجرای برنامه موردنظر، مقادیر عمق آب و دبی در فواصل مختلف x در طول سرریز و در نهایت در ابتدای سرریز به دست می‌آید. بنابراین، دبی سرریز جانبی مطابق رابطه ۵ تعیین می‌گردد:

$$Q_w = Q_1 - Q_b \quad (5)$$

که در آن: Q_1 : دبی کانال اصلی در ابتدای سرریز، Q_b : دبی کانال اصلی در انتهای سرریز که معلوم فرض می‌گردد.

برای حل معادلات ۳ و ۴، تابع ضریب دبی C_{de} لازم می‌باشد. در رابطه ۴ برای محاسبه عمق آب روی تاج سرریز در هر المان $(Y-P)$ ، با توجه به تغییرات کم عمق آب در هر المان، از میانگین عمق آب در ابتدا و انتهای هر المان استفاده شده است.

جهت انجام محاسبات، مقدار ضریب تخلیه از رابطه ۶ تعیین و این ضریب که به‌عنوان متغیر وابسته در روابط رگرسیونی می‌باشد، محاسبه می‌گردد (هنر، ۲۰۰۲):

$$C_{de} = \frac{Q_{we}}{\frac{2}{3} \sqrt{2gh}^{\frac{3}{2}} * L_e} \quad (6)$$

در این رابطه:

Q_{we} : دبی سرریز جانبی برای هر المان، L_e : طول هر المان، h : عمق آب بالای تاج سرریز در هر المان یا همان $(Y-P)$ می‌باشد.

مقدار Q_{we} برای هر المان با توجه به مقدار سرعت جریان آب در آن المان در 0.6 عمق از سطح آب به‌عنوان سرعت میانگین، سطح مقطع جریان و رابطه پیوستگی محاسبه و استفاده گردید. لازم به ذکر است که جهت کنترل صحت اندازه‌گیری دبی هر المان، مجموع دبی المان‌ها با دبی سرریز جانبی که از طریق سرریز مثلی شکل انتهای کانال جانبی اندازه‌گیری می‌شد، مورد مقایسه قرار گرفت.

همچنین، جهت ارزیابی روابط پیشنهادی در تخمین مقادیر (C_{de}) ، مقادیر خطای نسبی برآورد، از رابطه ۷ برای مقادیر ضریب تخلیه و دبی سرریز جانبی استفاده شده است. در این رابطه X_0 ، X_m و N به ترتیب متغیر مشاهده شده، متغیر محاسبه شده و تعداد داده‌ها می‌باشد:

$$RE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{X_0 - X_m}{X_0} \right| \quad (7)$$

برای برآورد ضریب تخلیه سرریز جانبی، با توجه به داده‌های آزمون‌های مختلف، مدل‌های رگرسیونی تعیین گردید. در این روابط ضرایب ثابت از یکدیگر مستقل می‌باشند و انتخاب متغیرها تنها براساس ضوابط آماری و معنی‌دار بودن متغیر انجام گرفت.

با انجام محاسبات و تحلیل آماری بر روی داده‌های آزمون با کنترل در پایین‌دست مشخص گردید، ضریب تخلیه المانی تابعی از نسبت عمق آب روی تاج سرریز در انتهای سرریز به طول سرریز $(Y_2 - P)/L$ و نسبت فاصله از ابتدای سرریز به طول سرریز (X/L) بوده و رابطه مناسب براساس حداقل مربعات خطا به‌صورت رابطه ۸ می‌باشد. در ضمن، مقادیر SE و RE به ترتیب برابر خطای استاندارد و خطای نسبی برآورد می‌باشد.

- 1- Multicollinearity
- 2- Datafit
- 3- Residual sum of squares

در انتهای سرریز جانبی به پهنای تاج سرریز $(Y_2 - P)/W$ ، و نسبت طول از ابتدای سرریز جانبی به طول سرریز X/L و رابطه مناسب براساس حداقل مربعات خطا به صورت رابطه ۱۰ می باشد:

$$Cd_e = 0.064\left(\frac{P}{Y_1}\right) + 2.129\left(\frac{Y_2 - P}{L}\right) + 0.068\left(\frac{Y_2 - P}{W}\right) + 0.102\left(\frac{X}{L}\right) + 0.255$$

[SE = 0.0300, RE = 3.26%]

تحلیل حساسیت پارامترها نشان می دهد که در رابطه

۱۰ پارامتر $\frac{P}{Y_1}$ از حساسیت بالاتری برخوردار می باشد.

مقادیر ضریب تخلیه محاسبه شده توسط مدل المانی با مقادیر مشاهده ای در شکل های ۳ تا ۵ مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به مدل های ارائه شده جهت تخمین ضریب دبی برای هر کدام از آزمون ها، مقادیر دبی کل کانال اصلی (Q_1) و دبی سرریز جانبی (Q_w) از طریق حل عددی معادلات ۳ و ۴ به دست آمد. مقادیر دبی سرریز جانبی محاسبه شده و مشاهده ای در شکل های ۶ تا ۸ مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین مقادیر خطای نسبی دبی محاسبه شده در جدول ۲ ارائه گردیده است.

برای ارزیابی مدل المانی ارائه شده نسبت به حالت کلی، کلیه محاسبات در این مرحله نیز مشابه حالت المانی تکرار گردید با این تفاوت که در حالت کلی ضریب دبی به صورت کلی برای سرریز جانبی به دست می آید. برای اندازه گیری عمق آب بالای تاج سرریز در حالت کلی از روش سیمپسون استفاده شده است. مقدار h یا متوسط عمق آب بالای تاج سرریز با استفاده از قانون سیمپسون به صورت زیر تعیین می گردد (فراوئی، ۲۰۰۰):

$$h = \frac{h_1 + 2h_2 + 2h_3 + h_4}{6} \quad (11)$$

$$Cd_e = 0.129 + 14.914\left(\frac{Y_2 - P}{L}\right) - 301.198\left(\frac{Y_2 - P}{L}\right)^2 + 2235.963\left(\frac{Y_2 - P}{L}\right)^3 + 0.481\left(\frac{X}{L}\right) - 0.779\left(\frac{X}{L}\right)^2 + 0.445\left(\frac{X}{L}\right)^3 [SE = 0.0236, RE = 2.31\%] \quad (8)$$

همچنین تحلیل حساسیت پارامترها براساس روش نیرینگ (۱۹۸۹) نشان می دهد که پارامتر $\frac{Y_2 - P}{L}$ از حساسیت بیشتری برخوردار است.

همچنین، رابطه مناسب برای آزمون بدون کنترل در پایین دست به صورت رابطه ۹ و تابعی از نسبت پهنای تاج سرریز به عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی (W/Y_2)، نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب کانال در ابتدای سرریز جانبی (P/Y_1)، و نسبت فاصله از ابتدای سرریز به عمق آب کانال در انتهای سرریز جانبی (X/Y_2) انتخاب گردید.

$$Cd_e = -0.038\left(\frac{W}{Y_2}\right) + 1.361\left(\frac{P}{Y_1}\right) + 0.009\left(\frac{X}{Y_2}\right) - 0.654 \quad (9)$$

[SE = 0.0364, RE = 4.10%]

در رابطه ۹ تحلیل حساسیت پارامترها گویای حساسیت بالای پارامتر $\frac{P}{Y_1}$ نسبت به سایر پارامترها می باشد.

پس از انجام بررسی های آماری به صورت مجزا برای هر آزمون، محاسبات آماری به صورت کلی برای کلیه آزمون ها و بدون در نظر گرفتن شرایط انتهایی انجام گرفت. نتایج محاسبات آماری برای کلیه آزمون ها نشان داد که ضریب تخلیه تابعی است از نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب کانال در ابتدای سرریز جانبی P/Y_1 ، نسبت عمق آب روی تاج سرریز در انتهای سرریز جانبی به طول سرریز $(Y_2 - P)/L$ ، نسبت عمق آب روی تاج سرریز

جدول ۲- متوسط مقادیر خطای نسبی دبی محاسبه شده توسط مدل المانی.

شرایط آزمایش	خطای نسبی دبی سرریز (Q_w) درصد	خطای نسبی دبی کل (Q_1) درصد
با کنترل در پایین دست	۳/۷۶	۱/۸۲
بدون کنترل در پایین دست	۳/۰۸	۰/۵۶
کلیه آزمون ها	۳/۴۸	۱/۵۴

که در آن: h_1 و h_4 : به ترتیب برابر مقادیر عمق آب بالای تاج سرریز در ابتدا و انتهای سرریز، h_2 و h_3 : مقادیر عمق آب بالای تاج سرریز در دو نقطه از طول سرریز و در بین نقاط ۱ و ۴ به طوری که فاصله این چهار نقطه از هم برابر گردد. مقادیر متوسط خطای نسبی^۱ در تخمین دبی کل و دبی سرریز جانبی توسط مدل کلی در جدول ۳ ارائه شده است. به طور کلی مقادیر خطای نسبی در تخمین دبی سرریز جانبی در مدل المانی کمتر از مدل به دست آمده در شرایط کلی می باشد و این گویای تخمین بهتر مدل المانی نسبت به مدل ارائه شده در حالت کلی می باشد. با توجه به داده های کم آزمایش در حالت انتها باز، مدلی برای سرریز جانبی در حالت بدون کنترل در پایین دست در حالت کلی تعیین نگردید.

ارزیابی مدل با استفاده از مطالعات گذشته: جهت ارزیابی مدل، با استفاده از داده های سایر محققین (هنر، ۲۰۰۲؛ فراروئی، ۲۰۰۰) به مقایسه نتایج واقعی با مقادیر شبیه سازی شده پرداخته شد.

آزمایش های هنر (۲۰۰۲) در یک کانال مستطیلی سیمانی منشوری و غیرمنشوری بر روی سرریزهای مایل انجام پذیرفت. در این تحقیق طول سرریز جانبی ۰/۴، ۰/۸ و ۱/۲ متر می باشد. سرریز از نوع لبه پهن با پهنای ثابت ۰/۴۰ متر و ارتفاع متوسط ۰/۱۸-۰/۰۷ متر بوده و شیب تاج سرریز ۲/۸۶-۰/۸۸ درصد می باشد. با توجه به داده های آزمایش هنر (۲۰۰۲) و استفاده از مدل المانی ارائه شده، مقادیر ضریب دبی و دبی سرریز جانبی به دست آمد. نتایج محاسبات آماری نشان می دهد که خطای نسبی در برآورد دبی سرریز جانبی برای حالت منشوری برابر ۵/۰۹ درصد می باشد. مقایسه مقادیر دبی سرریز جانبی مشاهده ای با محاسبه شده نشان می دهد که مدل المانی ارائه شده قادر به تخمین مناسب در این حالت نیز می باشد (شکل ۹).

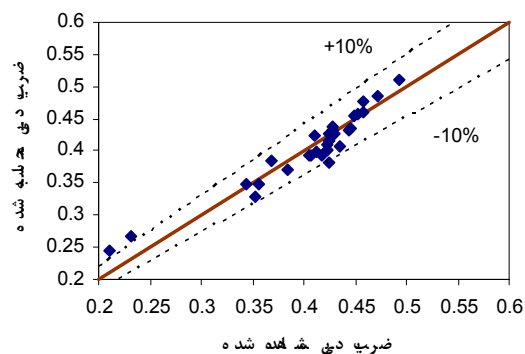
همچنین با استفاده از اطلاعات فراروئی (۲۰۰۰) در یک کانال ذوزنقه ای سیمانی (انتها بسته) با مقادیر مختلف شیب جانبی ۱/۵:۱، ۱:۱، ۱/۵:۰ و ۰:۱ با عرض کف ثابت ۰/۴ متر ارزیابی مدل المانی انجام پذیرفت. در این آزمایش ارتفاع سرریز لبه پهن در هر مقطع به طور متوسط برابر ۰/۱ متر و طول آن برابر ۰/۳ متر می باشد. نتایج محاسبات آماری نشان می دهد که خطای نسبی در برآورد دبی سرریز برای مقادیر مختلف شیب جانبی برابر ۱۰/۳۳ درصد می باشد. همچنین در شکل ۱۰ مقایسه مقادیر دبی مشاهده ای با محاسبه شده ارائه گردیده است، که نشان دهنده پراکندگی و قرار گرفتن بیشتر نقاط در محدوده خطای ده درصد بوده و گویای قابل اعتماد بودن استفاده از مدل المانی ارائه شده در کانال هایی با شیب های جانبی مختلف می باشد.

نتیجه گیری

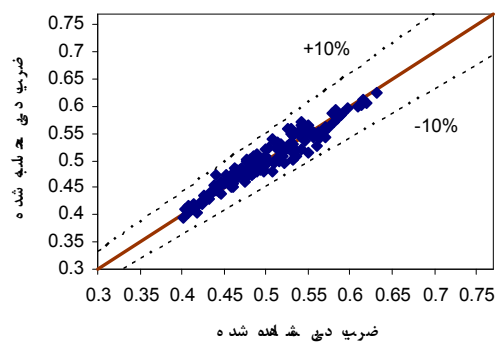
در این تحقیق براساس نتایج آزمایش های انجام شده بر روی مدل فیزیکی یک مدل المانی ارائه گردید که قادر است تغییرات ضریب تخلیه مکانی دبی سرریزهای جانبی تخت در کانال های مستطیلی را برآورد نماید. مقایسه نتایج به دست آمده توسط مدل و مقادیر اندازه گیری شده براساس اطلاعات مستقل، نشان دهنده اعتبار مدل در سایر شرایط می باشد. به طور کلی مقادیر خطای نسبی در تخمین دبی سرریز جانبی در مدل المانی کمتر از مدل ارائه شده در حالت کلی بوده و این گویای جواب مناسب تر مدل المانی نسبت به مدل کلی می باشد. در نهایت می توان نتیجه گرفت که جهت محاسبه ضریب دبی در شرایط با کنترل در پایین دست رابطه ۸ و در شرایط بدون کنترل در پایین دست رابطه ۹ توصیه می گردد و در حالت کلی استفاده از رابطه ۱۰ پیشنهاد می گردد.

جدول ۳- متوسط مقادیر خطای نسبی دبی محاسبه شده توسط مدل Overall.

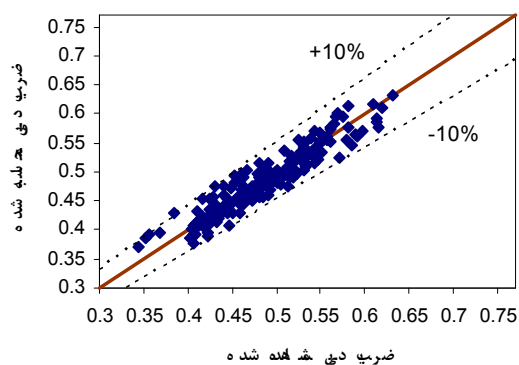
شرایط آزمایش	خطای نسبی دبی سرریز (Q_{11})، درصد	خطای نسبی دبی کل (Q_1)، درصد
با کنترل در پایین دست	۶/۸۹	۳/۴۴
بدون کنترل در پایین دست	---	---
کلیه آزمون‌ها	۶/۰۸	۲/۷۳



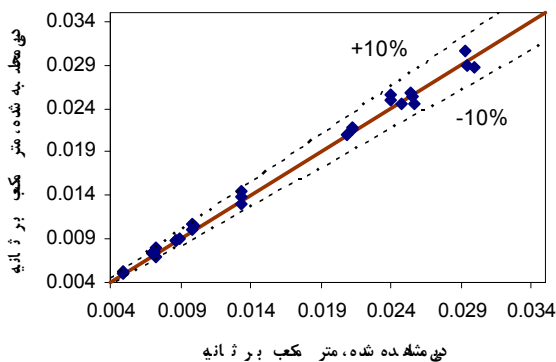
شکل ۴- مقایسه مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و محاسبه شده برای آزمون بدون کنترل در پایین دست.



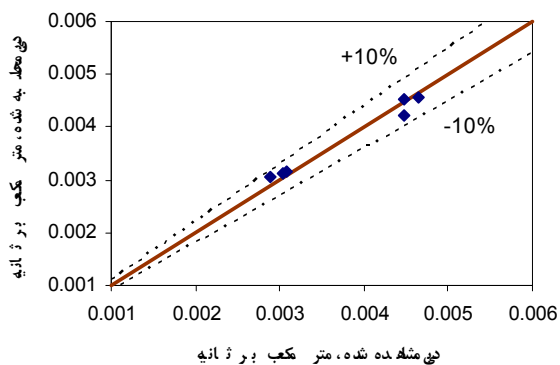
شکل ۳- مقایسه مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و محاسبه شده برای آزمون با کنترل در پایین دست.



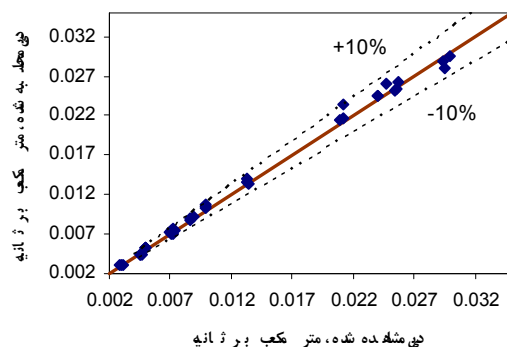
شکل ۶- مقایسه مقادیر دبی (سرریز جانبی) مشاهده شده و محاسبه شده برای آزمون با کنترل در پایین دست.



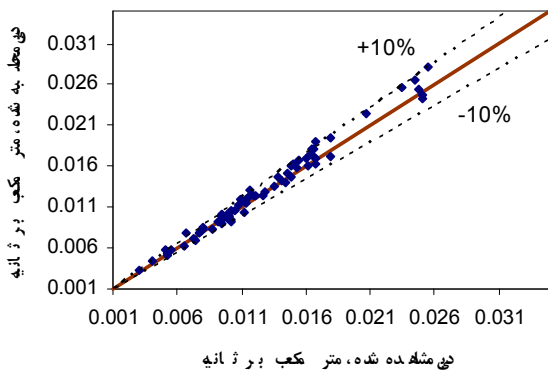
شکل ۵- مقایسه مقادیر ضریب دبی مشاهده شده و محاسبه شده برای کلیه آزمون‌ها.



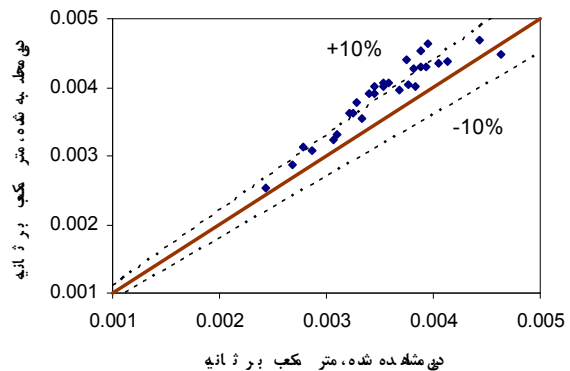
شکل ۸- مقایسه مقادیر دبی (سرریز جانبی) مشاهده شده و محاسبه شده برای کلیه آزمون‌ها.



شکل ۷- مقایسه مقادیر دبی (سرریز جانبی) مشاهده شده و محاسبه شده برای آزمون بدون کنترل در پایین دست.



شکل ۱۰- مقایسه مقادیر دبی (سرریز جانبی) مشاهده شده و محاسبه شده براساس اطلاعات فرارویی (۲۰۰۰) با استفاده از معادله ۱۰.



شکل ۹- مقایسه مقادیر دبی (سرریز جانبی) مشاهده شده و محاسبه شده براساس اطلاعات هنر (۲۰۰۲) با استفاده از معادله ۸.

منابع

1. Ackers, P. 1957. A theoretical consideration of side weir as storm water outflow. Proceedings institute of Civil Engineers, London, England, 6: 250-269.
2. Colling, V.K. 1957. The discharge capacity of side weirs. Proceedings institute of Civil Engineers, London, England, (6): 288-304.
3. De Marchi, G. 1934. Saggio di teoria di funzionamento degli stramazzi laterali. L'Energia Electricia, (11): 849-870.
4. El-Khashab, A., and Smith, K.V.H. 1976. Experimental investigation of flow over side-weirs. J. Hydr. Engrg. ASCE, 102(9): 1255-1268.
5. Fararoei, A.R. 2000. Investigation of flow hydraulics over side weir and improvement of discharge coefficient with the influence of side slope at upstream. M.Sc thesis, Irrigation and drainage Engrg., Shiraz University, Shiraz, Iran (in Farsi), 164 pp.
6. Frazer, W. 1957. The behavior of side weirs in prismatic rectangular channels. Proceedings institute of Civil Engineers, London, England, (6): 305-327.
7. Hager, W.H. 1994. Supercritical flow in circular-shaped side weirs. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 120(1): 1-12.
8. Henderson, F.M. 1966. Open channel flow. Macmillan New York, N.Y.
9. Honar, T. 2002. Hydraulic algorithm of inclined side weirs in Non-Prismatic channels. Ph.D thesis, Shiraz University, Shiraz, Iran, 177 pp.
10. Jabson, J.D. 1991. Applied Multivariate Data Analysis, Vol. I: Regression and Experimental Design. Springer Verlag, New York. 360 pp.
11. Nearing, M.A., Ascough, L.D., and Chaves, H.M.L. 1989. WEPP model sensitivity analysis, Ch. 14, In USDA-Water Erosion Prediction Project.
12. Ranga Raju, K.G., Parasad, B., and Gupta, S. K. 1979. Side weir in rectangular channel. J. Hydr. Engrg., ASCE, 113(2): 98-105.
13. Subramanya, K., and Awasthy, S.C. 1972. Spatially varied flow over side-weirs. J. Hydr. Engrg., ASCE, 98(1): 1-10.
14. Swamee, P.K. 1988. Generalized rectangular weir equations. J. Hydr. Engrg., ASCE, 114(8): 645-649.
15. Swamee, P.K., Pathak, S.K., and Ali, M.S. 1994. Side-weir analysis using elementary discharge coefficient. J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 120(4): 742-755.
16. Uyumaz, A., and Smith, R.H. 1991. Design procedure for flow over side weirs. J. Irrig. And Drain. Engrg., ASCE, 117(1): 79-90.

Experimental study of spatial discharge coefficient in broad crested side weir

F. Aghayari¹ and *T. Honar²

M.Sc. Student, Dept. of water, Shiraz University, Iran, ²Assistant Prof., Dept. of water, Shiraz University, Iran

Abstract

The side weir is a hydraulic structure which is widely used in irrigation and drainage networks and water treatment plants. The discharge over the side weir is a spatially varied flow condition with flow reduction. In this study, the effect height and width of the side weir on the variation of spatial discharge coefficient is investigated in sub-critical flow condition and in a rectangular flume. From the result, it was found that with downstream flow control, the variation of the discharge coefficient along the side weir is a function of the ratio of flow depth over side weir crest at the end of weir to weir length and ratio of distance from the upstream of the weir to weir length. Also, it was found that without downstream flow control, the variation of discharge coefficient is a function of the ratio of weir width to flow depth at the end of the weir, ratio of weir height to flow depth at the upstream of the weir and ratio of distance from the upstream of the weir to flow depth at the end of side weir. Additionally, a statistical model is proposed to estimate the spatial discharge coefficient in sub-critical flow condition. The proposed model is compared with the previously published data and produced reasonable results. There was a good agreement with a relative error of less than ten percent. Finally, the above model enables to estimate relatively accurate results when compared with the overall discharge coefficient models.

Keywords: Side weirs; Variation of the spatial discharge coefficient; Spatially varied flow.

*- Corresponding Author; Email: honar@shirazu.ac.ir