نشریه علوم آب و خاک
سال بیست و هفتم / شماره سوم / پاییز ۱۴۰۲/مقاله علمی-پژوهشی: صفحات ۲۸۱ تا ۲۹۲

بررسی آزمایشگاهی اثر ابعاد هندسی تاج سرریز کلید پیانویی مستطیلی بر ضریب شدت جریان

محسن درفشان[۱و۲]، علیرضا مسجدی[۲*]، محمد حیدرنژاد[۲] و امین بردبار[۲]

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۳)

چکیده

سرریزهای کلید پیانویی سرریزهایی هستند که ظرفیت تخلیه دبی بالایی دارند. طراحی مناسب این سرریزها، مستلزم دقت کافی در پیش‌بینی نوع سرریزها است. در این پژوهش به‌منظور بررسی اثر طول و عرض نسبی تاج سرریز کلید پیانویی دو سیکل بر ضریب دبی، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی مستطیل شکل از جنس پلاکسی‌گلاس انجام گرفت. در این پژوهش با استفاده از سرریز کلید پیانویی مستطیلی با طول نسبی تاج ۰/۸، ۱ و ۱/۲ و عرض نسبی تاج ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ در ۱۰ شدت جریان در کانال، ضریب شدت جریان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش بار هیدرولیکی، ضریب شدت جریان ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همچنین افزایش طول نسبی تاج به میزان ۵۰ درصد باعث افزایش ۴۳ درصد ضریب شدت جریان در سرریز می‌شود. افزایش عرض نسبی تاج سرریز به میزان ۵۰ درصد باعث افزایش ۲۵ درصد ضریب شدت جریان در سرریزها می‌شود. همچنین رابطه‌ای برای تعیین بیشینه عمق آب‌شستگی نسبی ارایه شد که ضریب همبستگی نتایج حاصل از این معادله با نتایج آزمایشگاهی حدود ۰/۹۰ است.

واژه‌های کلیدی: سرریز کلید پیانویی، ضریب شدت جریان، رودخانه، طول تاج سرریز

۱. گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: drmasjedi.2007@yahoo.com

مقدمه

یکی ازسازه‌های اصلی در طراحی سدهای انحرافی ومخزنی برای عبور آب اضافی و سیلاب از سرآب به پایاب سدها، سرریز است. این سازه به صورت مانعی با ارتفاع معین در بستر جریان احداث‌شده وجریان رودخانه‌ای حتما از روی آن سرریز می‌نماید. بنابراین با توجه به حساس بودن نقش آن، می‌بایست قوی و مطمئن باشد و با راندمان بالا طراحی و ساخته شود، تا در هر لحظه آمادگی لازم برای بهره‌برداری را دارا باشد. استفاده از سرریزهای کلید پیانویی راه‌حلی مؤثر برای افزایش جریان عبوری است. این نوع سرریزها با افزایش طول تاج در یک عرض مشخص، دبی بیشتری را برای بار هیدرولیکی یکسان از خود عبور می‌دهند (۴). سرریزهای کلید پیانویی در پلان پیچ و خم دارند تا بتوانند ظرفیت تخلیه را برای عرض مشخصی از کانال سرریز افزایش دهند. این سرریزها همچنین راه‌حلی قوی برای افزایش ظرفیت تخلیه سیلاب هستند درنتیجه حجم جریان عبوری از آنها افزایش می‌یابد و نسبت به سرریزهای خطی، ارتفاع آزاد کمتری در بالادست نیاز دارند. این موضوع در مواقعی که سرریز به‌عنوان سازه تخلیه سیلاب عمل می‌کند بسیار با اهمیت است و به تسهیل عبور جریان سیلاب می‌انجامد (۳).

اومانه و لمپریر (۹) نشان دادند در سرریز کلید پیانویی اگر دهانه ورودی بزرگ‌تر از دهانه خروجی در نظر گرفته شود، باعث افزایش دبی عبوری سرریز می‌شود. همچنین آنها نشان دادند که در سرریزهای کلید پیانویی دو نوع جریان وجود دارد. در نوع اول، کلید ورودی، جریان‌های نزدیک‌شونده را به سمت خود کشیده و مشابه سرریزهای لبه‌تیز با بدنه شیب‌دار، جریان از روی تاج ورودی به‌صورت ریزشی به سمت پایین‌دست تخلیه می‌شود. در نوع دوم، جریان روی کلیدهای خروجی شکل می‌گیرد و در این حالت جریان عبوری از روی تاج خروجی مشابه جت به سمت پایین‌دست بخش شیب‌دار کلید، تخلیه می‌شود.

لیت ریبریو و همکاران (۸) با استفاده از نتایج مدل‌های فیزیکی یک معادله عمومی را برای رابطه دبی-اشل سرریز کلید پیانویی ارائه کردند. نتایج نشان داد ظرفیت این نوع سرریزها به‌طور عمده به ارتفاع عمق آب روی سرریز، طول تاج، ارتفاع کلیدهای ورودی و طول بال آن بستگی دارد. لی دیوسن و همکاران (۷) با انجام مطالعاتی روی سرریزهای کلید پیانویی بیان داشتند استفاده از عرض بیشتر برای کلید ورودی نسبت به کلید خروجی موجب بهبود عملکرد هیدرولیکی این سرریزها می‌شود.

بلزنر و همکاران (۲) به مطالعه سرریزهای کلید پیانویی و زیگزاگی با درنظر گرفتن شرایط جریان آزاد و مستغرق این سرریزها پرداختند. آنان در این پژوهش از مدل فیزیکی سرریزهای زیگزاگی مستطیلی، مثلثی و ذوزنقه‌ای و سرریزهای کلید پیانویی بهره گرفتند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد حساسیت به استغراق در سرریزهای زیگزاگی ذوزنقه‌ای و مستطیلی نسبت به کلید پیانویی و سرریز زیگزاگی مثلثی بیشتر است اما سرریز زیگزاگی مثلثی راندمان هیدرولیکی کمتری دارد. با توجه به اینکه در خصوص سرریزهای کلید پیانویی مطالعاتی صورت گرفته است اما در مورد تأثیر طول و عرض تاج روی ضریب جریان پژوهش‌های زیادی صورت نگرفته است. بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی ضریب جریان در سرریز کلید پیانویی و تأثیر طول و تاج سرریز روی ضریب جریان پرداخته شده است.

کبیری سامانی و جواهری (۵) برای تعیین تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کلید پیانویی، آزمایش‌های متعددی روی ۲۰ مدل آزمایشگاهی با هندسه متفاوت انجام دادند. درنهایت با استفاده از معادله عمومی سرریزها، معادله‌ای که کمترین خطا را داشت به‌عنوان بهترین رابطه برای تعیین ضریب دبی سرریز در حالت جریان آزاد ارائه دادند.

احمدی و همکاران (۱) اقدام به بررسی شبیه‌سازی عددی آب‌گذری با استفاده از نرم‌افزار Flow 3D پرداختند.

آنها روند تغییرات ضریب آب‌گذری به ازای نسبت‌های مختلف از بار هیدرولیکی را دنبال کردند. نتایج نشان داد در مدل عددی نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی برای ضریب آب‌گذری تقریبا ۱/۲۵ تا ۱/۵ است. در این محدوده، نتایج نزدیک به هم بوده و این امر ناشی از تعادل و موازنه بین نسبت عرض کلید ورودی به خروجی با رابطه ظرفیت هیدرولیکی بود.

رستمی و همکاران (۱۰) پژوهشی در خصوص بررسی ضریب شدت جریان در سرریزهای تک و دو سیکل کلید پیانویی و مقایسه آن با سرریز زیگزاگی پلان مستطیلی انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد ضریب جریان در سرریز کلید پیانویی نسبت به سرریز زیگزاگی پلان مستطیلی حدود ۳۸ درصد بیشتر است. همچنین با افزایش بار هیدرولیکی و رسیدن به دبی استغراق، اختلاف ضریب جریان بین دو سرریز کاهش می‌یابد به‌طوری که این اختلاف در دبی‌های زیاد حدود ۲۴ درصد کاهش و تراز پایاب از تراز تاج سرریز به‌تدریج افزایش پیدا کرده است.

روشنگر و همکاران (۱۱) به بررسی و ارزیابی تأثیر تغییرات پارامترهای هندسی بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای و کلید پیانویی پرداختند. در این پژوهش چهار نوع سرریز شامل سرریز کنگره‌ای، سرریز کنگره‌ای قوسی، سرریز کلید پیانویی و سرریز کلید پیانویی قوسی در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرریزهای قوسی کارایی بیشتری نسبت به سایر سرریزهای نام برده دارند. با افزایش Hd/P (بار نسبی هیدرولیکی) مقدار ضریب دبی این سرریزها به هم نزدیک می‌شوند که با افزایش زاویه سیکل قوسی برتری سرریزهای کلید پیانویی نسبت به سرریزهای کنگره‌ای بیشتر می‌شود.

کمایی عباسی و همکاران (۶) در خصوص تأثیر نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی و شیب کلید بر ضریب آب‌گذری در سرریزهای کلید پیانویی دو و سه سیکل با دماغه مثلثی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش بار هیدرولیکی، ضریب آب‌گذری ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی از ۰/۸ تا ۱/۲۵ ضریب آب‌گذری در سرریز کلید پیانویی به مقدار ۲۶ درصد افزایش یافت.

معادله عمومی سرریزها که تولیس و همکاران (۱۲) برای سرریزهای کلید پیانویی به‌کار گرفتند.

$$Q=\frac{2}{3}C_d L\sqrt{2gH_0^{1.5}} \qquad (۱)$$

که در آن Q دبی عبوری از سرریز، L طول تاج سرریز، g شتاب ثقل، H_0 بار هیدرولیکی کل و C_d ضریب شدت جریان بدون بعد است.

با درنظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه زیر بین پارامترهای مؤثر بر ضریب شدت جریان در سرریز کلید پیانویی در حالت تعادل برقرار است:

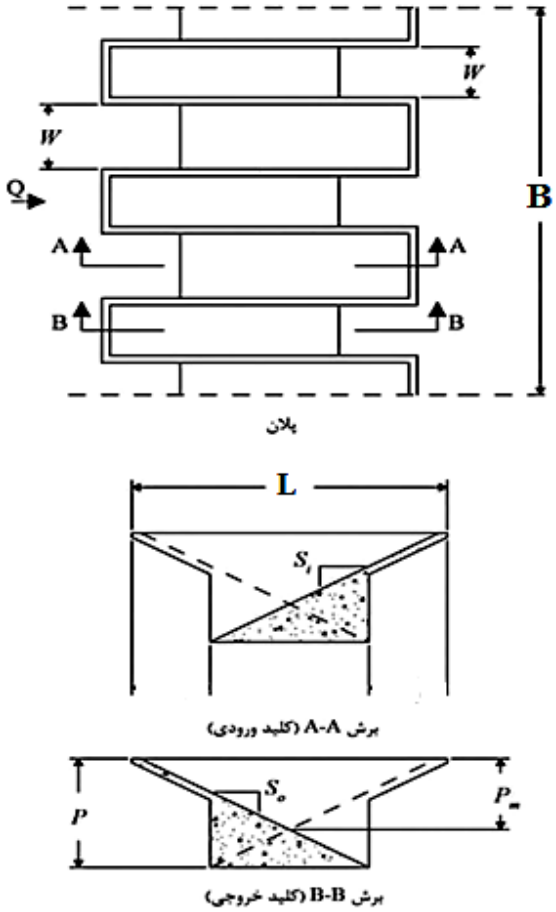
$$C_d=f(H_0,P,L,B,W,S_i,S_0,\rho,\upsilon,g,S) \qquad (۲)$$

در رابطه ۲، H_0 بار هیدرولیکی کل، P ارتفاع سرریز، L طول تاج سرریز، B عرض سرریز، W عرض یک سیکل سرریز، S_i شیب کف کلید ورودی، S_0 شیب کف کلید خروجی، ρ جرم مخصوص سیال، υ لزجت سینماتیکی سیال، g شتاب ثقل، S شیب کف کانال است (شکل ۱).

با صرفه‌نظر کردن از پارامترهای ثابت در رابطه ۲، با استفاده از تئوری باکینگهام رابطه ۳ به‌صورت زیر بدون بعد می‌شود:

$$C_d=f\left(\frac{H_0}{P},\frac{L}{B},\frac{W}{B}\right) \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، H_0/P بار نسبی هیدرولیکی، L/B طول نسبی تاج سرریز، W/B عرض نسبی یک سیکل سرریز است. با توجه به اینکه بیشتر پژوهش‌ها در خصوص بررسی هیدرولیکی سرریز کلید پیانویی روی بار نسبی هیدرولیکی بوده‌اند بنابراین در این پژوهش اقدام به بررسی اثر طول و عرض سرریز کلید پیانویی روی ضریب شدت جریان شده است.



شکل ۱. نمای از سرریز کلید پیانویی دو سیکل

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این پژوهش به صورت هیدرولیکی در فلوم آزمایشگاهی واقع در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به طول ۸، عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۵ متر انجام شد. دیواره‌های فلوم شفاف و از جنس شیشه ساخته شد و درنتیجه شرایط جریان قابل بررسی بود. کف فلوم صاف، ثابت و بدون شیب در نظر گرفته شد. جریان آب ابتدا از طریق پمپ از مخزن زمینی به سمت مخزن آرام‌کننده ورودی در بالادست فلوم هدایت شد. جریان به آرامی و با دبی کم وارد کانال و از روی سرریز عبور کرد. جریان آب پس از عبور از سرریز از طریق کانال پایین دست به مخزن پمپاژ شد. عمق آب در بالادست سرریز توسط عمق‌سنج لیزری با درصد خطای ۲ درصد اندازه‌گیری شد. همچنین توسط سرریز لبه تیز مثلثی در بالادست، دبی جریان در فلوم اندازه‌گیری شد. به‌منظور کالیبراسیون سرریز لبه مثلثی از روش حجمی استفاده شد. در کلیه آزمایش‌ها از ۱۰ شدت جریان ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۸ و ۲۰ لیتر بر ثانیه استفاده شد. در این پژوهش سرریز کلید پیانویی در حالت دو سیکل از جنس پلکسی‌گلاس ساخته شد. در کلیه آزمایش‌ها، تراز بستر بالادست و پایین‌دست برابر بودند. به‌منظور بررسی اثر طول تاج سرریز بر ضریب شدت جریان سه طول ۴۰، ۵۰ و ۶۰ سانتی‌متر که به‌ترتیب برابر ۰/۸، ۱ و ۱/۲ برابر عرض فلوم آزمایشگاهی هستند، انتخاب شد $(L/B = 0.8,1,1.2)$. همچنین از سه عرض تاج سرریز مختلف به اندازه ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر که به‌ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ عرض فلوم انتخاب شد. $(W/B = 0.2,0.3,0.4)$. با توجه به متغیرهای پژوهش، تعداد ۹

شکل ۲. موقعیت نصب سرریز کلید پیانویی دو سیکل در فلوم آزمایشگاهی

ماکت سرریز کلید پیانویی دو سیکل با ارتفاع ثابت ۳۶ سانتی‌متر تهیه شد. (شکل ۲).

بحث و نتایج

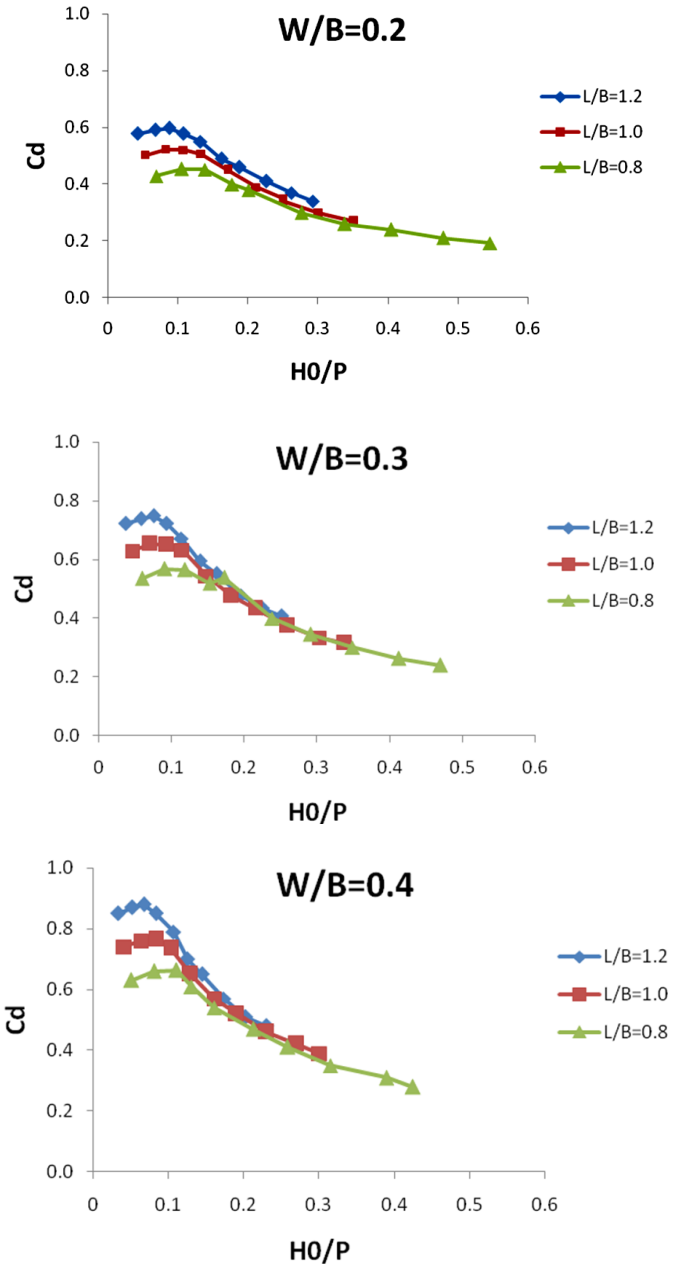
در همه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی، عمق جریان روی سرریز کلید پیانویی دو سیکل اندازه‌گیری شد. پارامترهای اثرگذار بر شدت جریان عبوری از سرریز، طول و عرض تاج سرریز است. نتایج حاصل از آزمایش‌های هیدرولیکی سرریز کلید پیانویی در جدول ۱ ارائه شده است.

تأثیرطول نسبی تاج سرریز کلید پیانویی بر ضریب جریان عبوری

شکل ۳ نمودارهای بدون بعد بار هیدرولیکی نسبی و ضریب جریان عبوری از سرریز کلید پیانویی دو سیکل با سه طول نسبی سرریز ۰/۸، ۱ و ۱/۲ در سه عرض نسبی سرریز ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ برای ده شدت جریان را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۳ در کلیه طول‌های نسبی سرریز، با افزایش نسبت بار هیدرولیکی تا حدود ۰/۱ ($H0/P<0.1$)، ضریب جریان افزایش می‌یابد و در این نسبت به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن به‌دلیل افزایش حد استغراق در پایین دست سرریز، ضریب جریان کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر در نسبت‌های کم‌بار هیدرولیکی در سرریز، بیشترین ضریب جریان دیده می‌شود. دلیل آن افزایش تدریجی بار هیدرولیکی است و در واقع نشان‌دهنده گذر از مرحله هوادهی کامل و ورود به مرحله چسبندگی جزیی است. در این مرحله سرریز به صورت آزاد عمل می‌نماید و جریان ریزشی از روی تاج آن با فاصله مناسب نسبت به بدنه سرریز به پایین‌دست منتقل می‌شود، این امر موجب می‌شود تا احتمال ایجاد کاویتاسیون به‌طور چشم‌گیر کاهش یابد. به‌عبارت دیگر در دبی‌های کم، به‌دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزشی، ضریب جریان از سرریز بیشتر شده و به‌تدریج با افزایش شدت جریان تداخل بیشتر شده و شدت جریان کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش بار هیدرولیکی تا حدود ۰/۱۷ ضریب جریان افزایش و بعد از آن تا حد استغراق سرریز ضریب جریان کاهش می‌یابد. همچنین نمودارهای شکل ۳ نشان می‌دهد که بین طول نسبی تاج سرریز و ضریب جریان عبوری از سرریز رابطه مستقیمی وجود دارد،

جدول ۱. مشخصات هیدرولیکی سرریز کلید پیانویی دوسیکل مورد آزمایش

W/B=0.4		W/B=0.3		W/B=0.2		
Cd	H0/P	Cd	H0/P	Cd	H0/P	L/B
۰/۶۳۰	۰/۰۵۰	۰/۵۳۶	۰/۰۵۹	۰/۴۲۸	۰/۰۷۸	۰/۸
۰/۶۶۰	۰/۰۸۰	۰/۵۶۸	۰/۰۸۹	۰/۴۵۴	۰/۱۰۴	۰/۸
۰/۶۶۴	۰/۱۱۰	۰/۵۶۴	۰/۱۱۸	۰/۴۵۲	۰/۱۳۷	۰/۸
۰/۶۱۰	۰/۱۳۰	۰/۵۱۹	۰/۱۵۲	۰/۴۱۵	۰/۱۷۶	۰/۸
۰/۵۴۰	۰/۱۶۰	۰/۵۳۹	۰/۱۷۲	۰/۴۳۱	۰/۱۹۹	۰/۸
۰/۴۷۰	۰/۲۱۲	۰/۳۹۹	۰/۲۳۸	۰/۳۱۹	۰/۲۷۶	۰/۸
۰/۴۱۰	۰/۲۵۸	۰/۳۴۴	۰/۲۹۱	۰/۲۷۵	۰/۳۳۸	۰/۸
۰/۳۵۰	۰/۳۱۴	۰/۳۰۱	۰/۳۴۸	۰/۲۴۱	۰/۴۰۴	۰/۸
۰/۳۱۰	۰/۳۸۹	۰/۲۶۴	۰/۴۱۲	۰/۲۱۱	۰/۴۷۸	۰/۸
۰/۲۸۰	۰/۴۲۴	۰/۲۴۱	۰/۴۶۹	۰/۱۹۳	۰/۵۴۵	۰/۸
۰/۷۴۰	۰/۰۴۱	۰/۶۲۹	۰/۰۴۵	۰/۵۰۳	۰/۰۵۳	۱/۰
۰/۷۶۰	۰/۰۶۳	۰/۶۵۴	۰/۰۷۱	۰/۵۲۳	۰/۰۸۲	۱/۰
۰/۷۶۵	۰/۰۸۳	۰/۶۵۰	۰/۰۹۳	۰/۵۲۰	۰/۱۰۸	۱/۰
۰/۷۳۶	۰/۱۰۳	۰/۶۳۳	۰/۱۱۴	۰/۵۰۶	۰/۱۳۳	۱/۰
۰/۶۵۰	۰/۱۲۹	۰/۵۴۴	۰/۱۴۷	۰/۴۳۵	۰/۱۷۱	۱/۰
۰/۵۷۰	۰/۱۶۰	۰/۴۷۶	۰/۱۸۲	۰/۳۸۱	۰/۲۱۱	۱/۰
۰/۵۲۰	۰/۱۹۰	۰/۴۳۴	۰/۲۱۵	۰/۳۴۷	۰/۲۴۹	۱/۰
۰/۴۶۰	۰/۲۳۰	۰/۳۷۴	۰/۲۵۹	۰/۲۹۹	۰/۳۰۰	۱/۰
۰/۴۲۰	۰/۲۷۰	۰/۳۳۵	۰/۳۰۲	۰/۲۶۸	۰/۳۵۱	۱/۰
۰/۳۹۰	۰/۳۰۰	۰/۳۱۵	۰/۳۳۸	۰/۲۵۲	۰/۳۹۲	۱/۰
۰/۸۵۰	۰/۰۳۳	۰/۷۲۳	۰/۰۳۷	۰/۵۷۸	۰/۰۴۳	۱/۲
۰/۸۷۰	۰/۰۵۱	۰/۷۳۹	۰/۰۵۵	۰/۵۹۲	۰/۰۶۷	۱/۲
۰/۸۸۰	۰/۰۶۷	۰/۷۴۸	۰/۰۷۵	۰/۵۹۸	۰/۰۸۷	۱/۲
۰/۸۵۰	۰/۰۸۳	۰/۷۲۳	۰/۰۹۳	۰/۵۷۸	۰/۱۰۸	۱/۲
۰/۷۹۰	۰/۱۰۶	۰/۶۷۲	۰/۱۱۳	۰/۵۳۷	۰/۱۳۱	۱/۲
۰/۷۰۰	۰/۱۲۵	۰/۵۹۵	۰/۱۳۹	۰/۴۷۵	۰/۱۶۱	۱/۲
۰/۶۵۰	۰/۱۴۴	۰/۵۵۳	۰/۱۶۱	۰/۴۴۲	۰/۱۸۸	۱/۲
۰/۵۷۰	۰/۱۷۳	۰/۴۷۹	۰/۱۹۴	۰/۳۸۳	۰/۲۲۶	۱/۲
۰/۵۱۰	۰/۲۰۲	۰/۴۳۴	۰/۲۲۵	۰/۳۴۷	۰/۲۶۱	۱/۲
۰/۴۸۰	۰/۲۳۰	۰/۴۰۸	۰/۲۵۱	۰/۳۲۶	۰/۲۹۲	۱/۲

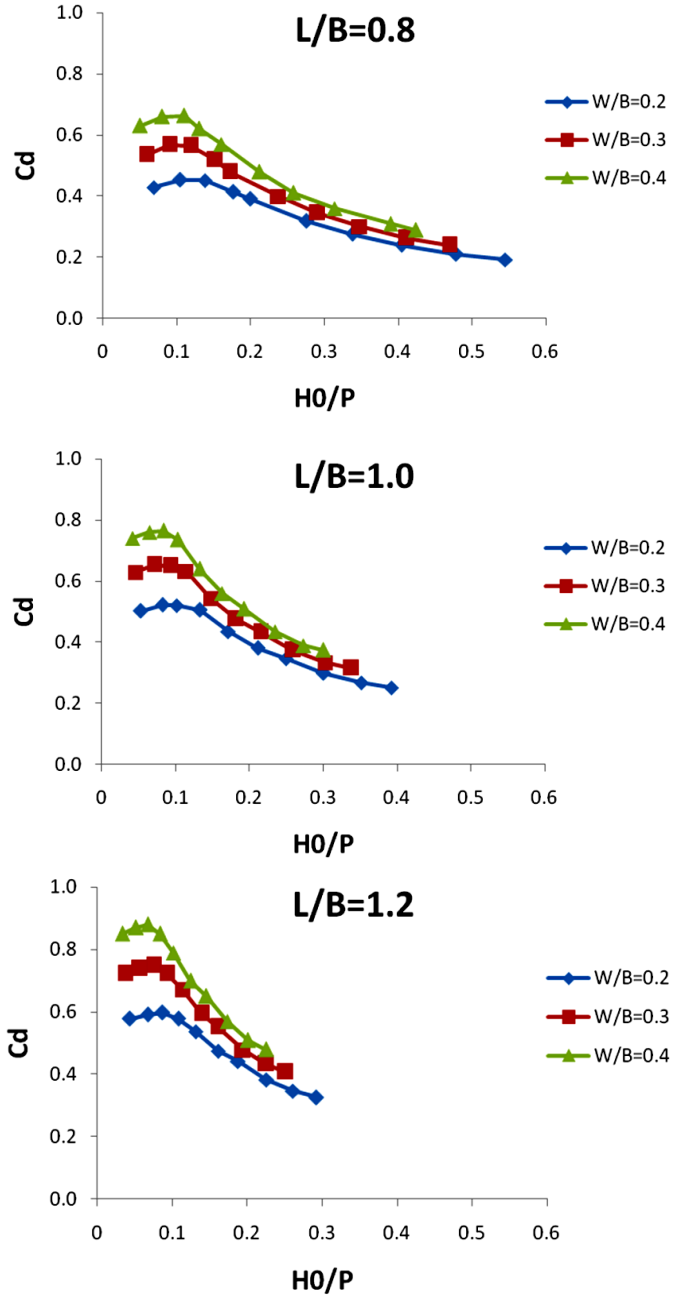


شکل ۳. تأثیرطول نسبی تاج سرریز بر ضریب جریان در سرریز کلید پیانویی دو سیکل

به‌طوری که با افزایش طول نسبی تاج سرریز در کلیه عرض‌های نسبی تاج سرریز، ضریب جریان عبوری از تاج سرریز افزایش می‌یابد. به‌طوری که در طول نسبی ۱/۲ بیشترین ضریب جریان به میزان ۰/۷۲ و کمترین میزان ضریب جریان در طول نسبی ۰/۸ حدود ۰/۳۴ به‌دست آمده است. افزایش طول نسبی تاج سرریز از ۴۰ به ۶۰ سانتی‌متر (۵۰ درصد) باعث افزایش ضریب جریان حدود ۴۳ درصد می‌شود. با افزایش طول تاج سرریز، امکان عبور جریان از طول بیشتری از روی سرریز به‌وجود می‌آید.

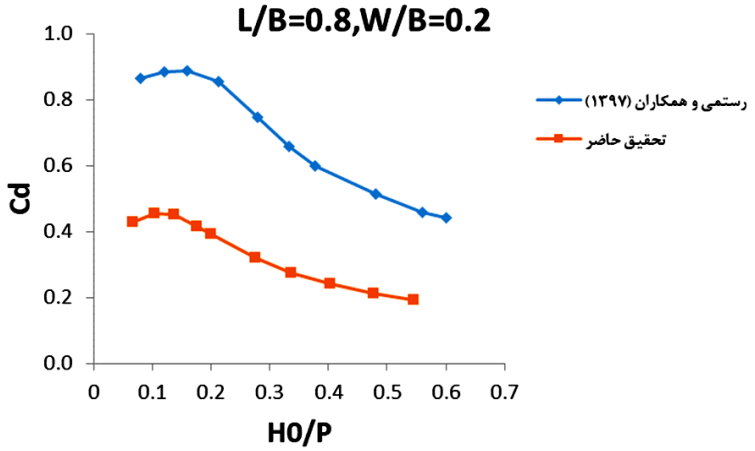
تأثیر عرض نسبی تاج سرریز بر ضریب جریان عبوری

شکل ۴ نمودارهای بدون بعد بار هیدرولیکی و ضریب جریان عبوری از سرریز کلید پیانویی دو سیکل را با سه عرض نسبی



شکل ۴. تأثیرعرض نسبی تاج سرریز بر ضریب جریان در سرریز کلید پیانویی دو سیکل

سرریز ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ و با سه طول نسبی سرریز ۰/۸، ۱ و ۱/۲ برای ده شدت جریان نشان می‌دهد. مطابق شکل در کلیه عرض‌های نسبی سرریز، با افزایش نسبت بار هیدرولیکی تا حدود ۰/۱ (H0/P<0.1)، ضریب جریان افزایش می‌یابد و در این نسبت به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر در نسبت‌های کم‌بار هیدرولیکی در سرریز، بیشترین ضریب جریان دیده می‌شود. همچنین مطابق نمودارهای شکل ۴، واضح است که بین عرض نسبی تاج سرریز و ضریب جریان عبوری از سرریز رابطه مستقیمی وجود دارد به‌طوری که با افزایش عرض نسبی تاج سرریز در کلیه طول‌های نسبی تاج سرریز، ضریب جریان عبوری از تاج سرریز افزایش می‌یابد. به‌طوری که در عرض نسبی ۰/۴ بیشترین



شکل ۵. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج آزمایشگاهی رستمی و همکاران (۱۰)

ضریب جریان به میزان ۰/۷۲ و کمترین میزان ضریب جریان در عرض نسبی ۰/۲ حدود ۰/۳۴ به‌دست آمده است. افزایش عرض نسبی تاج سرریز از ۱۰ به ۱۵ سانتی‌متر (۵۰ درصد) باعث افزایش ضریب جریان حدود ۲۵ درصد می‌شود. با افزایش عرض تاج سرریز، امکان عبور جریان از عرض بیشتری از روی سرریز به‌وجود می‌آید.

مقایسه نتایج پژوهش حاضر با پژوهش سایر پژوهشگران

به‌منظور مقایسه تأثیر بار هیدرولیکی بر ضریب جریان در پژوهش حاضر با سایر پژوهشگران، از نتایج پژوهش‌های رستمی و همکاران (۱۰) استفاده شد. شکل ۵ نمودار بدون بعد بار هیدرولیکی و ضریب جریان عبوری از سرریز کلید پیانویی دو سیکل با عرض نسبی سرریز ۰/۲ با طول نسبی سرریز ۰/۸ برای ده شدت جریان را نشان می‌دهد. مطابق شکل در هر دو نمودار، با افزایش نسبت بار هیدرولیکی تا حدود ۰/۱ (H0/P<0.1)، ضریب جریان افزایش می‌یابد و در این نسبت به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد تطابق مناسبی بین نتایج رستمی و همکاران (۱۰) دیده می‌شود.

ارائه رابطه برای تخمین ضریب جریان در سرریز کلید پیانویی دو سیکل

به‌منظور تخمین ضریب جریان در سرریز کلید پیانویی دو سیکل، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS، رابطه ۴ به‌کمک رگرسیون غیرخطی بین بار هیدرولیکی، طول نسبی تاج و عرض نسبی تاج سرریز در سرریز کلید پیانویی دو سیکل ایجاد شد.

$$C_d = a\left(\frac{H_0}{P}\right)^b \times \left(\frac{L}{B}\right)^c \times \left(\frac{W}{B}\right)^d \qquad (۴)$$

در رابطه ۴، a، b، c و d مقادیر تجربی بوده که بر اساس روش حداقل مربعات محاسبه شد. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به کمک آنالیز رگرسیون غیرخطی مقادیر جدول ۲ برای تعیین مقادیر تجربی در رابطه ۴ ارائه شد.

سپس مدل با ۸۵ درصد داده‌ها ساخته و با ۱۵ درصد آنها صحت‌سنجی انجام شد. آنالیز آماری مربوط به ارزیابی معادله ارائه شده با ۱۵ ٪ داده‌هایی که در توسعه این مدل‌ها استفاده نشده بودند در جدول ۳ آمده است.

به‌منظور همبستگی میان مقادیر ضریب جریان اندازه‌گیری‌شده و مقادیر محاسبه‌شده، نمودار شکل ۶ در محدوده ۳ درصد خطا ارائه شد.

نتیجه‌گیری

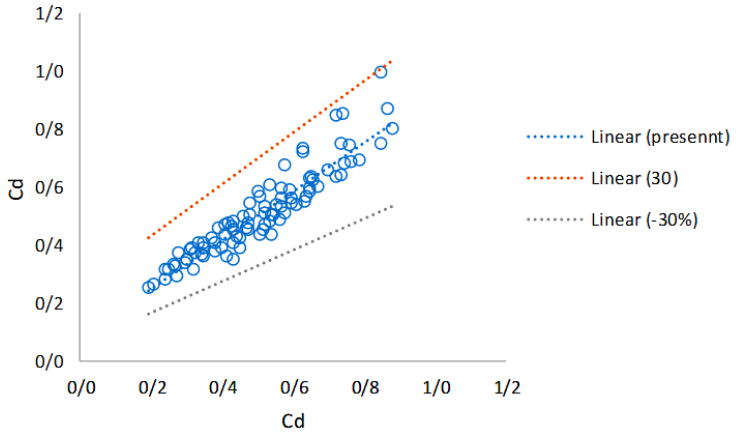
در این پژوهش آزمایش‌ها جهت بررسی ضریب شدت جریان در سرریز کلید پیانویی در فلوم مستطیلی آزمایشگاهی با سه طول نسبی تاج سرریز ۰/۸، ۱ و ۱/۲ و سه عرض نسبی تاج

جدول۲. آنالیز آماری برای تخمین ضرایب و توان‌های رابطه ۴

پارامتر	مقدار	انحراف استاندارد	محدوده اطمینان ٪۹۵	
			کمینه	بیشینه
a	۰/۴۷۱	۰/۰۳۶	۰/۴۰۰	۰/۵۴۱
B	−۰/۳۱۱	۰/۰۱۹	−۰/۳۴۹	−۰/۲۷۲
c	۰/۴۷۳	۰/۰۸۲	۰/۳۱۱	۰/۶۳۵
d	۰/۴۳۶	۰/۰۴۷	۰/۳۴۱	۰/۵۳۰

جدول ۳. آنالیز آماری معادله پیشنهادی برای تخمین ضریب جریان در سرریز کلید پیانویی دو سیکل

R^2	RMSE	
0.95	0.6.356	$C_d = 0.471\left(\frac{H_0}{P}\right)^{-0.311}\left(\frac{L}{B}\right)^{0.473}\left(\frac{W}{B}\right)^{0.436}$



شکل۶. همبستگی میان مقادیر ضریب شدت جریان اندازه‌گیری‌شده و مقادیر محاسبه‌شده

سرریز ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ در ۱۰ شدت جریان انجام شد. متغیرهای مؤثر در این پژوهش طول نسبی تاج سرریز، عرض نسبی تاج سرریز و شدت جریان بودند. نتایج نشان داد که بین طول نسبی تاج سرریز و ضریب جریان عبوری از سرریز رابطه مستقیمی وجود دارد به‌طوری که افزایش طول نسبی تاج سرریز به میزان ۵۰ درصد باعث افزایش ضریب جریان حدود ۴۳ درصد می‌شود. همچنین بین عرض نسبی تاج سرریز و ضریب جریان عبوری از سرریز رابطه مستقیمی وجود دارد، به‌طوری که با افزایش عرض نسبی تاج سرریز در کلیه طول‌های نسبی تاج سرریز، ضریب جریان عبوری از تاج سرریز افزایش می‌یابد. افزایش عرض نسبی تاج سرریز به میزان ۵۰ درصد باعث افزایش ضریب جریان حدود ۲۵ درصد می‌شود. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج دیگر پژوهشگران نشان داد که با افزایش بار هیدرولیکی تا حدود ۰/۱۷، ضریب جریان افزایش و بعد از آن تا حد استغراق سرریز ضریب جریان کاهش می‌یابد. به‌منظور تخمین ضریب شدت جریان در سرریز کلید پیانویی دو سیکل، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS رابطه‌ای به‌کمک رگرسیون غیرخطی بین طول نسبی، عرض نسبی و بار هیدرولیکی ایجاد شد که ضریب همبستگی نتایج حاصل از این معادله با نتایج آزمایشگاهی حدود ۰/۹۰ به‌دست آمد.

منابع مورد استفاده

1. Ahmadi, H., B. Aminnejad and R. Tahebar Ali. Numerical study of hydraulic flow in piano weirs. *In*: Proceeding of 2014 The First National Conference on Civil Engineering and Sustainable Development of Iran, Tehran, Iran. (In Persian).
2. Belzner, F., J. Merkel, M. Gebhardt and C. Thorenz. 2017. Piano key and labyrinth weirs at German waterways: Recent and future research of the BAW. Labyrinth and Piano Key Weirs III- PKW 2017-Erpicum et al. (Eds), Tayloar and Francis Group, London, ISBN 978-138-05010-5.
3. Crookston, B. and B. P. Tullis. 2012. Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 138: 773-776.
4. Falvey, H. T. 2003. Hydraulic Design of Labyrinth Weirs. ASCE Press, 1801 Alexander Bell Drive Reston, Virginia 20191-400 USA.
5. Kabiri Samani, A. and A. Javaheri, A. Determination of coefficient of Piano-key wiers in free flow. *In*: Proceeding of 2012 The First International Conference and the third National Conference on Dams and Hydropower, Tehran, Iran. (In Persian).
6. Kamaei Abbasi, B., S. Khodashenas and M. Heydarnejad. 2020. Efficient of input to output key wideh and key gradient on flow rate coefficient on three-cycle piano key weirs with triangle nose. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 3(14): 867-880. (In Persian)
7. Le Doucen, O., M. L. Ribeiro, J. L. Boillat, A. J. Schleiss and F. Laugier. 2009. Etude Parametrique de la capacite des PK-Weirs. Modeles physiques hydrauliques-Outils indispensables du XXIe siècle. SHF. Lyon.
8. Leite-Ribeiro, M., M. Pfister, J. L. Boillat, A. J. Schleiss and F. Laugier. 2012. Piano key weirs as efficient spillway structure. *In*: Proceeding of 2012 24th ICOLD Congress on Large Dams, Kyoto, Japan.
9. Ouamance, A. and Lemperiere, F. Design of a new economic shape of weir. *In:* proceedings of 2006 International Symposium on Dams in the Socientice of the 21st Century. Barcelona. Spain. 463-470.
10. Rostami, H., M. Heidarnejad, M. Pormohammadi, A. Kamanbedast and A. Borbar. 2018. Laboratory study of discharge coefficients of one and two-cycle piano key weir and comparison of them with rectangular labyrinth weir. *Journal ofIrrigation and Drainage Structures Engineering Research* 19(71): 51-66. (In Persian).
11. Roshangar, K., M. Majedi Asl, M. T. Alami and J. Shiri, J. 2018. Laboratory study of free and submerged flow in piano key. *Journal of Irrigation and Drainage Structures Engineering Research* 90(70): 113-126. (In Persian).
12. Tullis, B., J. Young and M. Chandler. 2007. Head-discharge relationships for submerged labyrinth weirs. *Journal of hydraulic engineering* 133: 248-254.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 27, No. 3, Fall 2023, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Experimental Study of the Effect of Geometric Dimensions of Rectangular Piano Key Overflow Crest on the Flow Intensity Coefficient

M. Dorfeshan[1,2], A. R. Masjedi[2*], M. Haidarnejad[2] and A. Bordbar[2]

(Received: April 4-2023 ; Accepted: July 4-2023)

Abstract

Piano key overflows have a high discharge capacity. Proper design of these overflows requires sufficient accuracy in predicting the type of overflows. In this study, experiments were performed in a rectangular laboratory flume made of Plexiglas to investigate the effect of the relative length and width of the two-cycle piano switch overflow crest on the discharge coefficient. In present research, the flow intensity coefficient was investigated by installing a rectangular piano switch overflow with relative crest lengths of 0.8, 1, and 1.2 and relative crest widths of 0.2, 0.3, and 0.4 in 10 flow intensities in the channel. The results of this study showed that by increasing hydraulic load, the flow intensity coefficient first increases and then decreases. Also, by increasing the relative length of the crest by 50%, the current intensity coefficient increases by 43% in the overflow. Increasing the relative width of the overflow crest by 50% increases the current intensity coefficient by 25% in the overflows. Also, an equation was presented to determine the maximum relative scour depth, and the correlation coefficient of the results of this equation with the laboratory results is about 0.90.

Keywords: Piano key overflow, Flow intensity coefficient, River, Overflow crest length

1. Department of Water Science and Engineering, Khouzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Water Science and Engineering , Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran .

*:Corresponding author, Email: drmasjedi.2007@yahoo.com