



مطالعه آزمایشگاهی تیپ‌های مختلف سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای

ابوالفضل ساغری^۱، مجتبی صانعی^۲، خسرو حسینی^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۵/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۰۳

مقاله برگرفته از پایان نامه دکترا

چکیده

سرریزهای جانبی سازه‌های هیدرولیکی هستند که برای انحراف جریان در سیستم‌های آبیاری و زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرریزهای جانبی کلیدپیانویی از سال ۲۰۱۷ مورد مطالعه قرار گرفتند. این سرریزها دارای ضرایب آبگذری قابل توجهی نسبت به سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک در عرض محدود کانال جانبی هستند. در این تحقیق ضریب دبی چهار تیپ مختلف A، B، C و D سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای تحت شرایط جریان آزاد اندازه‌گیری شده و با نتایج سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک مقایسه شد. نتایج نشان داد که ضریب دبی سرریزهای تیپ A < تیپ B < تیپ C < تیپ D است که بسیار متفاوت با نتایج به‌دست‌آمده برای سرریزهای کلیدپیانویی به کار گرفته شده در وضعیت نرمال (جریان عمود بر محور سرریز) است. راندمان سرریزهای جانبی کلیدپیانویی در مقایسه با سرریزهای جانبی مستطیلی کلاسیک (ℓ) با افزایش هد روی سرریز کاهش می‌یابد تا جایی که در نسبت عمق جریان بالادست به ارتفاع سرریز (y_1/P) بیشتر از ۱/۴۵ به مقدار خاصی مجانب می‌شود. همچنین در این تحقیق یک رابطه چندجمله‌ای درجه ۳ برای تخمین دقیق ضریب دبی هر یک از تیپ‌های مختلف سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: جریان آزاد، جریان زیربحرانی، سرریز جانبی کلیدپیانویی، ضریب دبی، کانال مستقیم

^۱ دانشجوی دکتری، گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان. asaghari@semnan.ac.ir

^۲ دانشیار گروه مهندسی رودخانه و سواحل، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران.

(نویسنده مسئول) drsaneie@gmail.com m@scwmri.ac.ir

^۳ دانشیار، گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان. kh Hoseini@semnan.ac.ir

مقدمه

سرریز جانبی سازه هیدرولیکی است که پس از عبور تراز آب کانال اصلی از یک حد مشخص، جریان مازاد را از کانال اصلی به کانال جانبی منحرف می‌کند. این سازه‌ها در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و سیستم فاضلاب کاربرد دارند (Agaccioglu et al., 2012). برای افزایش ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی کلاسیک به طول کلی بیشتری نیاز است. با چین‌دار کردن سرریز در پلان و افزایش طول مؤثر سرریز، می‌توان بدون افزایش طول کلی سرریز، ضریب دبی را افزایش داد. این موضوع ایده اصلی ساخت سرریزهای کنگره‌ای بود (Borghei et al., 2013). در عمل بهترین نوع سرریز کنگره‌ای نوع دوزنقه‌ای آن است. ضریب دبی سرریزهای جانبی کنگره‌ای دوزنقه‌ای به‌طور متوسط ۱/۵ تا ۵ برابر بیش از سرریزهای جانبی مستطیلی کلاسیک بوده و اندکی بیشتر از سرریزهای جانبی کنگره‌ای مثلثی است (Emiroglu & Kaya, 2011).

سرریزهای کلیدپیانویی نوعی سرریز کنگره‌ای هستند که پایه سازه‌ای کوچک‌تری دارند. کف‌های شیب‌دار این سرریزها، ارتفاع دیوارهای قائم را کاهش می‌دهند و بنابراین در دیواره‌ها به فولاد تقویتی کمتری نیاز است. مطالعات گسترده‌ای روی رفتار هیدرولیکی، بهینه‌سازی، مزایا و معایب این سرریزها در وضعیت نرمال (جریان عمود بر محور سرریز مانند سدها)، در سراسر جهان انجام شد (Erpicum et al., 2017). این سرریزها چهار تیپ مختلف دارند. تیپ A با دو اورهنگ (طره)، تیپ B با تنها یک اورهنگ در بالادست و تیپ C با تنها یک اورهنگ در پایین‌دست. تیپ D نیز با وجود کف‌های شیب‌دار، فاقد اورهنگ است (Ho Ta, 2013). سیکرو و دلیسلی هر چهار تیپ مختلف این سرریزها را تحت شرایط جریان آزاد و در وضعیت نرمال مورد بررسی قرار دادند. در این شرایط

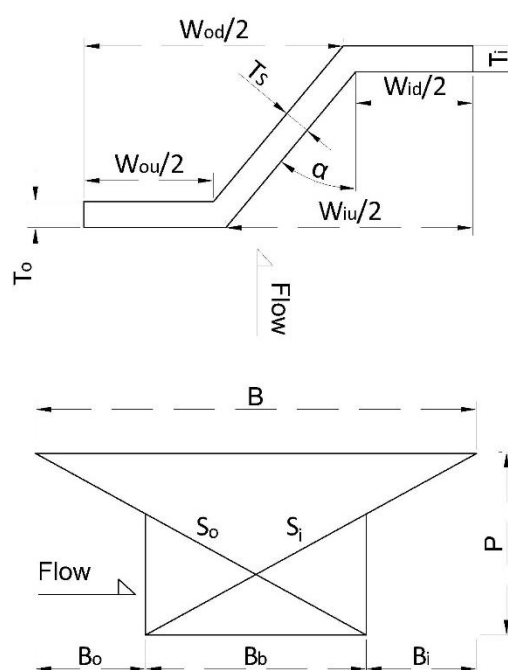
راندمان سرریزهای تیپ B < تیپ A < تیپ D < تیپ C بود (Cicero & Delisle, 2013). ضریب دبی متناسب با طول کلی سرریزهای کلیدپیانویی در وضعیت نرمال (C_{dw}) عدد ثابتی نبوده و تابعی از هد روی سرریز (H_u) است و دبی واحد عرض کلی سرریز (q_{sw}) تقریباً تابعی خطی از H_u است (Ho Ta, 2013). ضریب دبی سرریزهای کلیدپیانویی دوزنقه‌ای در وضعیت نرمال بیشتر از نوع مستطیلی آن است (Safarzadeh & Noroozi, 2016).

در سال ۲۰۱۷، برای اولین بار مطالعه پارامتریک سرریزهای جانبی کلیدپیانویی مستطیلی تیپ C در کانال مستقیم تحت شرایط جریان آزاد و مستغرق انجام شد (Karimi et al., 2017). نتایج نشان داد که با افزایش هد و عدد فرود مقدار افزایش ضریب دبی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی در برابر سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک کاهش می‌یابد. همچنین آنها ضرایب دبی سرریزهای کلیدپیانویی جانبی را با رابطه دی مارچی (C_M) و رابطه سرریزهای کلاسیک (C_d) محاسبه و با هم مقایسه کردند و دریافتند C_d برای سرریزهای جانبی قابل کاربرد بوده و با پارامترهای بدون بعد همبستگی بیشتری دارد. مهری و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی آزمایشگاهی ضریب آبگذری سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ C در کانال قوسی 180° پرداختند و نتیجه گرفتند که نسبت ارتفاع سرریز به عمق جریان در ابتدای سرریز (P/y_1) بر روی ضریب تخلیه این سرریزها تأثیرگذار است. الگوی جریان در کلید ورودی اول و دوم سرریز جانبی کلیدپیانویی متفاوت بوده به نحوی که در کلید ورودی اول سرریز جانبی جریان با غلتاب همراه است اما این موضوع در کلید دوم سرریز مشاهده نمی‌شود.

تا کنون تحقیقات بسیار اندکی در خصوص سرریزهای کلیدپیانویی در وضعیت جانبی انجام شده

طرح سرریزهای کلیدپیانویی

از نام‌گذاری استاندارد تعریف‌شده توسط پرالانگ و همکاران (Pralong et al., 2011) برای سرریزهای کلیدپیانویی و سیکرو و همکاران (Cicero et al., 2013) برای این سرریزها با پلان ذوزنقه‌ای استفاده شد (شکل (۲)).

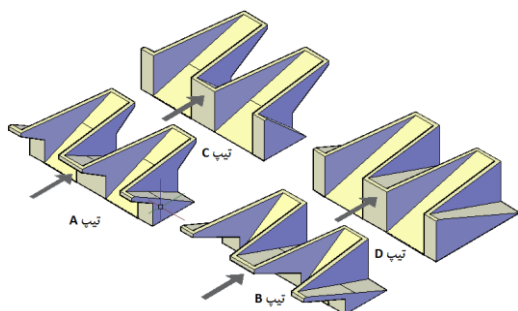


شکل (۲): پارامترهای اصلی سرریز کلیدپیانویی ذوزنقه‌ای، نمای پلان (بالا) - نمای برش (پایین)

در شکل (۲)، W_{od} ، W_{ou} ، W_{id} ، W_{iu} به ترتیب طول تاج کلید ورودی در بالاست، طول تاج کلید ورودی در پایین دست، طول تاج کلید خروجی در بالادست و طول تاج کلید خروجی در پایین دست هستند. B

طول بالادست تا پایین دست سرریز کلیدپیانویی است. B_o و B_b ، B_i به ترتیب طول اورهنگ کلید ورودی، طول پایه و طول اورهنگ کلید خروجی هستند. S_o و S_i به ترتیب شیب کلید ورودی و شیب کلید خروجی هستند. T_o و T_s ، T_i به ترتیب ضخامت تاج کلید ورودی، ضخامت تاج دیوار کناری و ضخامت تاج کلید خروجی هستند، که در این تحقیق هر سه با هم برابرند. ارتفاع سرریز است. α زاویه دیوار کناری است. سرریزهای کلیدپیانویی با پلان ذوزنقه‌ای در چهار تیپ مختلف A، B، C و D (شکل (۳)) از ورق PVC با ضخامت ۱۲ میلی‌متر و مشخصات

جدول (۱) طرح و ساخته شدند. طول مؤثر و سایر پارامترهای اصلی در همه سرریزها یکسان بود و تنها پارامترهای مربوط به تیپ سرریزها یعنی اورهنگ‌ها و شیب کف کلیدها با یکدیگر متفاوت بودند، لذا در این تحقیق اثر خاص تغییر در تیپ سرریزها به روی ضریب دبی موردبررسی قرار گرفت.



شکل (۳): چهار تیپ مختلف سرریز



جدول (۱). پارامترهای هندسی اصلی سرریزهای کلیدپیانویی (ابعاد به سانتیمتر)

T_s	S_o	S_i	B_i	B_o	B	P	W_{id}	W_{iu}	W	α°	تعداد سیکل (N_u)	سرریز کلیدپیانویی
۱/۲	۰/۵۷۶	۰/۵۷۶	۸/۵	۸/۵	۳۴	۱۴	۷/۴۱	۱۵/۴۷	۵۰	۷	۲	تیپ A
۱/۲	۰/۴۲۷	۰/۸۸۶	۰	۱۷	۳۴	۱۴	۷/۴۱	۱۵/۴۷	۵۰	۷	۲	تیپ B
۱/۲	۰/۸۸۶	۰/۴۲۷	۱۷	۰	۳۴	۱۴	۷/۴۱	۱۵/۴۷	۵۰	۷	۲	تیپ C
۱/۲	۰/۴۲۷	۰/۴۲۷	۰	۰	۳۴	۱۴	۷/۴۱	۱۵/۴۷	۵۰	۷	۲	تیپ D

شود. از آنجایی که عدد فرود بر ضریب دبی سرریزهای جانبی تأثیر دارد مقدار دبی کل Q_1 در ابتدای کانال برای همه آزمون‌ها ثابت و برابر 60 l/s در نظر گرفته شد. بدین ترتیب، مقادیر عدد فرود در کانال اصلی (Fr_1) تنها به مقادیر y_1 وابسته بود. به بیان دیگر در تمامی آزمایش‌ها به ازای عمق y_1 معین تنها یک مقدار مشخص از Fr_1 وجود داشت. دبی جانبی مربوط به هر سرریز به ازای مقادیر مختلف y_1 ثبت شد.

نتایج و بحث

ضریب دبی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای

شکل (۴) منحنی بدون بعد ضریب دبی یا $C_{dw}(y_1/P)$ مربوط به چهار تیپ مختلف سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای را نشان می‌دهد. برای پرهیز از اثر مقیاس ناشی از لزجت و کشش سطحی که ممکن است در هدهای خیلی کوچک رخ دهد، داده‌های مربوط به هدهای کمتر از ۳ سانتی‌متر ($y_1 - P < 3 \text{ cm}$) نباید مورد توجه قرار گیرند (Ribeiro et al, 2012). با توجه به شکل (۴) ضریب دبی سرریزهای جانبی تیپ A < تیپ B < تیپ C < تیپ D است؛ در حالی که در تحقیق سیکرو و همکاران در وضعیت نرمال (جریان عمود بر محور سرریز) ضریب

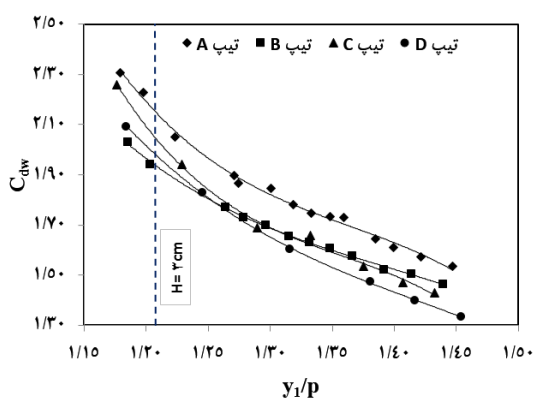
در سرریزهای کلیدپیانویی مستطیلی در وضعیت نرمال به ازای طول تاج ورودی و خروجی یکسان ($W_i = W_o$)، بیشترین راندمان حاصل می‌شود (Khasraf et al., 2016)، لذا سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای با پلان متقارن محوری و با طول تاج ورودی و خروجی یکسان ساخته شدند به نحوی که $W_{iu} = W_{od}$ و $W_{id} = W_{ou}$ است. ضخامت کلیه دیواره‌های سرریزها (T_s ، T_i و T_o) مساوی است. برای اندازه‌گیری راندمان آبگذری سرریز جانبی کلیدپیانویی در مقایسه با سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک یک نمونه سرریز مستطیلی خطی با طول W (۰/۵ متر و ارتفاع P) ۰/۱۴ متر از ورق PVC با ضخامت ۱۲ میلی‌متر نیز ساخته شد. حین آزمایش، سرریزها درست در ابتدای کانال جانبی نصب شد و هیچ بخشی از آن‌ها داخل کانال اصلی نبود.

فرایند آزمایش

کلیه آزمایش‌ها تحت شرایط جریان آزاد انجام شد. بسیاری از محققین از این فرض که تغییرات عمق جریان در مرکز کانال کمتر از دیواره مجاور سرریز جانبی است استفاده می‌کنند و y_1 را درست در ابتدای سرریز و در وسط کانال اصلی اندازه‌گیری می‌نمایند (Henderson, 1966, Borghei et al., 1999; Emiroglu et al., 2010; Agaccioglu et al., 2012). در این تحقیق نیز به همین نحو عمل می‌

لازم به ذکر است که در تمامی آزمایش‌ها مقدار دبی کل ثابت بوده و بدین ترتیب Fr_1 تابعی از y_1 است. داده‌های آزمایشگاهی به خوبی برای دامنه $1/45 < y_1/P < 21$ با رابطه چندجمله‌ای ۳ با ضرایب a_i جدول (۲) همبستگی دارند. به کمک این رابطه می‌توان ضرایب دبی سرریزهای تیپ A، B، C و D را با حداکثر خطای به ترتیب 0.163 ، 0.063 ، 0.185 و 0.165 درصد پیش‌بینی کرد.

$$C_{dw} = a_0 + a_1(y_1/P) + a_2(y_1/P)^2 + a_3(y_1/P)^3 \quad ۳$$



شکل (۴). ضریب دبی مربوط به طول کلی سرریز در برابر عمق بدون بعد

دبی سرریزهای کلیدپیانویی تیپ B < تیپ A < تیپ D < تیپ C است (Cicero and Delisle, 2013).

در سرریز نرمال جریان مستقیماً وارد سرریز می‌شود اما در سرریز جانبی جریان پیش از ورود به سرریز می‌بایست 90° تغییر جهت دهد. وجود اورهنگ به سمت کانال اصلی در تیپ‌های A و B موجب می‌شود جریان در اعماق پایین‌تر از تراز سطح سرریز بتواند از فضای زیر اورهنگ کلید خروجی به درون کلید ورودی متمایل شود و بدین ترتیب جریان بیشتری به کلیدهای ورودی هدایت شود. همچنین وجود اورهنگ به سمت پایین‌دست کانال جانبی در سرریزهای کلیدپیانویی تیپ A و C موجب هوادهی بهتر جریان در تاج انتهایی کلید ورودی شده و به تخلیه بهتر جریان کلید ورودی کمک می‌کند. سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ A از هر دو مزیت فوق برخوردار است.

همچنین بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی تاج نیم کلید خروجی اول از بالادست در کلیه سرریزهای کلیدپیانویی به علت فرم خاص جریان حین چرخش برای عبور از روی سرریز در تخلیه جریان کمتر مشارکت دارد.

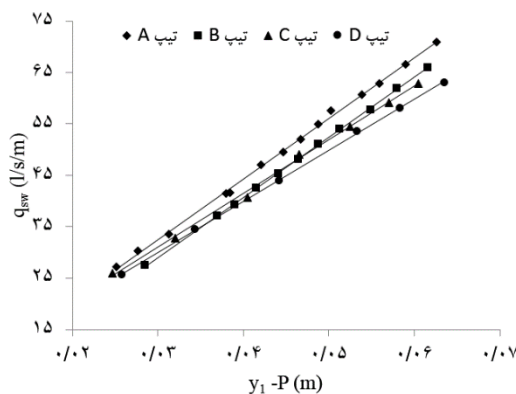
با توجه به اینکه در تمامی سرریزها کلیه پارامترهای هندسی مشابه هستند، ضریب دبی می‌تواند به صورت تابعی از عمق بدون بعد جریان (y_1/P) بیان شود.

جدول (۲). ضرایب رابطه ۳ برای پیش‌بینی منحنی دبی $C_d(y_1/P)$

سرریز کلیدپیانویی	a_0	a_1	a_2	a_3	R^2	خطای حداکثر (%)
تیپ A	۱۲۳/۰۲	-۲۶۳/۴۷	۱۹۲	-۴۶/۹۵۵	۰/۹۹۴۲	۱/۸۵
تیپ B	۵۹/۴۴۱	-۱۲۱/۸۷	۸۶/۵۱۲	-۲۰/۷۲۴	۰/۹۹۸۷	۰/۶۳
تیپ C	۱۵۹/۶	-۳۴۵/۸۲	۲۵۳/۵۳	-۶۲/۲۷	۰/۹۹۵۶	۱/۹۳
تیپ D	۵۹/۸۲۱	-۱۱۹/۳۲	۸۲/۴۰۸	-۱۹/۲۵۶	۰/۹۹۹۷	۰/۶۵

شکل (۶) منحنی دبی واحد عرض کلی سرریز (q_{sw}) در برابر $y_1 - P$ را نشان می‌دهد. این منحنی مشابه با منحنی دبی اشل سرریزهای کلیدپیانویی در وضعیت نرمال، فرم خطی دارد به نحوی که برای هر یک از سرریزها با یک معادله خط ساده از همبستگی خیلی خوبی ($R^2 > 0.998$) برخوردار است.

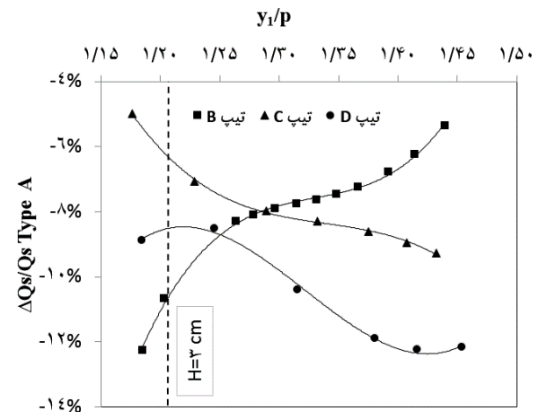
ضریب دبی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی مانند سرریزهای مستطیلی کلاسیک تقریباً ثابت نیست و تابعی از عمق بدون بعد جریان است. به همین علت، منحنی دبی اشل سرریزهای جانبی کلیدپیانویی برخلاف سرریزهای مستطیلی کلاسیک فرم خطی دارد.



شکل (۶). منحنی دبی واحد عرض کلی سرریزهای کلیدپیانویی در برابر $y_1 - P$

دبی منحرف‌شده توسط سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای و Q_{sR} دبی منحرف‌شده توسط سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک با طول کلی (W) و ارتفاع (P) مشابه است. شکل (۷) نسبت افزایش دبی چهار تیپ مختلف سرریز جانبی کلیدپیانویی را در برابر تغییرات عمق بدون بعد (y_1 / P) نشان می‌دهد. مقدار e برای هدهای بالاتر از ۳ سانتی‌متر از ۱/۶۷ تا ۲/۷۵ متغیر است. با افزایش y_1 / P ، راندمان سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای کاسته می‌شود تا جاییکه در نهایت برای $y_1 / P \geq 1/45$ در سرریزهای تیپ A، B، C و D به ترتیب e به مقدار ۱/۹۱، ۱/۸۱، ۱/۷۵ و ۱/۶۷ مجانب می‌شود. این

شکل (۵) درصد تغییرات دبی تیپ‌های مختلف سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای را در برابر تیپ A آنها نشان می‌دهد. منحنی تغییرات دبی سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ B با تیپ C دارای یک خط تقارن است، جالب توجه است که این تقارن در منحنی مشابه برای سرریزهای فوق در وضعیت نرمال در تحقیق سیکرو و همکاران (Cicero and Delisle, 2013) مشاهده می‌شود و فرم هندسی این سرریزها نیز متقارن است. با افزایش هد روی سرریز، تنها سرریز تیپ B تمایل به نزدیک شدن به راندمان سرریز تیپ A را دارد.



شکل (۵). درصد تغییرات دبی تیپ‌های مختلف سرریز جانبی کلیدپیانویی در برابر تیپ A

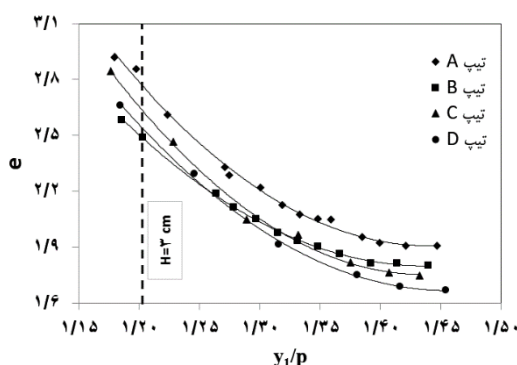
راندمان سرریزهای جانبی کلیدپیانویی در مقایسه با مستطیلی کلاسیک

راندمان سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای در برابر سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک به کمک نسبت افزایش دبی (e) اندازه‌گیری می‌شود. این نسبت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$e = Q_{sTPKSW} / Q_{sR}$$

عرض کانال جانبی پایین دست سرریز می‌شود، اما در سرریزهای جانبی مستطیلی کلاسیک جریان به علت فرم خطی پلان سرریز به دیواره دوم کانال جانبی از بالادست به شدت برخورد می‌کند و به‌خصوص در ابتدای کانال جانبی توزیع غیریکنواخت جریان مشاهده می‌شود.

کاهش راندمان به دو علت روی می‌دهد. اول، مستغرق شدن کلید خروجی به علت برخورد جت‌های سرریز شده از دیوار کناری با یکدیگر در درون کلید خروجی. دوم، مستغرق شدن کلید خروجی به علت ناتوانی در تخلیه جریان سرریز شده از تاج بالادستی کلید خروجی. به‌طور کلی فرم خاص کلیدها در سرریزهای جانبی کلیدپیانویی موجب توزیع تقریباً یکنواخت جریان در کل



شکل (۷). نسبت افزایش دبی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای در برابر سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک

مقایسه با تحقیقات دیگران

در

شکل (۸) ضرایب دبی سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای تیپ A مربوط به تحقیق حاضر و سرریز جانبی لایرننت دوزنقه‌ای مربوط به تحقیق امیرقلو و کایا (Emiroglu and Kaya2011) نشان داده شده است. ضرایب دبی سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای تیپ A به میزان قابل توجهی بیشتر از سرریزهای جانبی لایرننت دوزنقه‌ای است. ضرایب دبی سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک مربوط به تحقیق حاضر و آغاسی‌قلو و همکاران (Agaccioglu et al.,2012) نیز در

شکل (۸) آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی مستطیلی کلاسیک در برابر عمق ناچیز بوده و منحنی برازش داده شده بر داده‌ها فرم تقریباً خطی دارد.



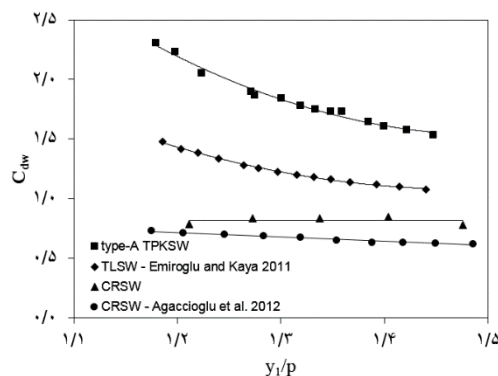
y_1/P به کمک یک رابطه چند جمله‌ای درجه سه با دقت قابل توجهی ($R^2 > 0.998$) قابل تخمین است.

۳- منحنی دبی واحد عرض کلی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای (q_{SW}) در برابر $y_1 - P$ مشابه با منحنی دبی اشل سرریزهای کلیدپیانویی در وضعیت نرمال، فرم خطی دارد.

۴- راندمان سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای در مقایسه با سرریزهای جانبی مستطیلی کلاسیک (e) با افزایش هد روی سرریز کاهش می‌یابد. تغییرات راندمان برای هدهای بالاتر از ۳ سانتی‌متر از مقدار حداکثری ۲/۷۵ تا ۱/۶۷ متغیر است. برای مقادیر y_1/P بیش از ۱/۴۵ راندمان کاهش بسیار نامحسوسی دارد.

۵- توزیع جریان سرریزهای جانبی کلیدپیانویی در عرض کانال جانبی پایین دست سرریز تقریباً یکنواخت است اما در سرریزهای جانبی مستطیلی کلاسیک کاملاً غیریکنواخت بوده و شدت جریان در نزدیکی دیواره دوم کانال جانبی بسیار قابل توجه است.

۶- ضرایب دبی سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای تیپ A به میزان قابل توجهی بیشتر از سرریزهای جانبی لابیرنت دوزنقه‌ای است.



شکل (۸). مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیقات دیگران

نتیجه‌گیری

در این تحقیق ضریب دبی چهار تیپ مختلف A، B، C و D سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای تحت شرایط جریان آزاد به صورت آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت و با ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی کلاسیک مقایسه شد. بر اساس یافته‌های این تحقیق نتایج زیر استخراج می‌شوند:

- ۱- ضریب دبی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای تیپ A < تیپ B < تیپ C < تیپ D است. درحالی‌که در وضعیت نرمال ضریب دبی سرریزهای کلیدپیانویی تیپ B < تیپ A < تیپ D < تیپ C است. علت تفاوت در زاویه برخورد جریان با سرریز در دو وضعیت جانبی و نرمال است.
- ۲- ضریب دبی هر یک از چهار تیپ مختلف سرریز جانبی کلیدپیانویی دوزنقه‌ای برحسب

منابع

مهری، ی.، ج. سلطانی، م. صانعی، و م. رستمی. ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی ضریب تخلیه سرریز جانبی کلیدپیانویی در کانال قوسی شکل. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، شهرپور، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.

Agaccioğlu, H., M. E. Emiroglu and N. Kaya. 2012. Discharge Coefficient of Side Weirs in Curved Channels. *Water Management*, 165 (6): 339–352.

Borghai, S. M., M. R. Jalili and M. Ghodsian. 1999. Discharge Coefficient for Sharp-Crested Side Weir in Subcritical Flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10): 1051–1056.

Borghai, S. M., M. A. Nekooie, H. Sadeghian and M. R. J. Ghazizadeh. 2013. Triangular labyrinth side weirs with one and two cycles. *Water Management*, 166(1): 27–42.



Cicero, G.M. and J.R. Delisle. 2013. Discharge characteristics of Piano Key weirs under submerged flow. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs, 101–109.

Cicero, G.M., J.R. Delisle, V. Lefebvre and J. Vermeulen. 2013. Experimental and numerical study of the hydraulic performance of a trapezoidal Piano Key Weir. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs, 265–272.

Emiroglu, M.E., N. Kaya and H. Agaccioglu. 2010. Discharge Capacity of Labyrinth Side Weir Located on a Straight Channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(1): 37–46.

Emiroglu, M. E. and N. Kaya. 2011. Discharge Coefficient for Trapezoidal Labyrinth Side Weir in Subcritical Flow. *Water Resource Management*, 25(3): 1037–1058.

Epicum, S., P. Archambeau, B.J. Dewals and M. Pirotton. 2017. Hydraulics of Piano Key Weirs: A review. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs, 27–36.

Henderson, F. M. 1966. *Open Channel Flow*. New York, N.Y., USA: Macmillan.

Ho Ta Khanh, M. 2013. The Piano Key Weirs: 15 years of Research and Development Prospect. In Proceedings of the 2nd International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs, 3–11.

Karimi, M., J. Attari, M. Saneie and M.R. Jalili Ghazizadeh. 2017. Experimental study of discharge coefficient of a Piano Key Side Weir. In Proceedings of the 3rd International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs, 109–116.

Khassaf, S.I., L.J. Aziz, and Z. A. Elkatib. 2016. Hydraulic Behavior of Piano Key Weir Type B under Free Flow Conditions. *International journal of science and technology research*, 5(3): 158–163.

Pralong, J., J. Vermeulen, B. Blancher and F. Laugier. 2011. A naming convention for the Piano Key Weirs geometrical parameters. In Proceedings of the 1st International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs, 271-278

Ribeiro, M.L., M. Pfister, A. J. Schleiss, and J. Boillat. 2012. Hydraulic design of A-type Piano Key Weirs. *Journal of Hydraulic Research*, 50(4): 400–408.

Safarzadeh, A. and B. Noroozi. 2017. 3D Hydrodynamics of Trapezoidal Piano Key Spillways. *International Journal of Civil Engineering*. 15(1): 89-101.



Experimental study of Various Types of Trapezoidal Piano Key Side Weirs

Abolfazl. Saghari^۱, Mojtaba. Saneie^۲, Khosro. Hoseini^۳

Abstract

Side weirs are hydraulic structures used for flow diversion in irrigation and drainage systems. Piano-key side weirs (PKSW) were investigated since 2017. For the specific width of a diversion channel, the discharge coefficient of PKSWs is far greater than that of classic rectangular side-weirs (CRSWs). In this study, the discharge coefficient of various types (A, B, C, and D) of Trapezoidal Piano Key Side-Weirs (TPKSWs) have been measured and compared with the discharge coefficient of CRSWs under the free-flow condition. The results showed that the performance of TPKSWs can be classified: Type A > Type B > Type C > Type D. But, these results were different for normal TPKWs. Discharge efficiency (ϵ) of TPKSWs relative to CRSWs decreases with increasing the upstream head. At y_1/P (ratio of the upstream flow depth to the weir height) > 1.45, the discharge efficiency of types-A, -B, -C, and -D TPKSW approached 1.91, 1.81, 1.75, and 1.67, respectively. Moreover, this study presented a three-degree polynomial function to estimate the discharge coefficient of TPKSW.

Key words: discharge coefficient, free-flow condition, piano-key side weirs (PKSW), straight channel, subcritical-flow condition

^۱Ph.D. candidate, Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. asaghari@semnan.ac.ir

^۲Associate Professor, Department of River and Coastal Engineering, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. (Corresponding Author Email: Drsaneie@gmail.com, saneie_m@scwmri.ac.ir)

^۳Associate Professor, Department of Water and Hydraulic Structures, Faculty of civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. khoseini@semnan.ac.ir