Archive of SID
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1404-1416

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۴، مهر - آبان ۱۳۹۹، ص. ۱۴۱۶-۱۴۰۴

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه تاثیر نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی و شیب کلید بر ضریب آبگذری در سرریزهای کلید پیانویی دو و سه سیکل با دماغه مثلثی

بیژن کمایی عباسی[۱]، سعید رضا خداشناس[۲*]، محمد حیدرنژاد[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۳/۲۳

چکیده

سرریزهای کلید پیانویی نوع جدیدی از سرریزها هستند که ظرفیت تخلیه دبی بالایی دارند و می‌توانند به عنوان سازه‌ای اقتصادی با کارایی بالا مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق برای تعیین تأثیر پارامتر هندسی نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی سرریز و شیب بر ضریب آبگذری، ۱۸۰ آزمایش روی سرریزهای دو و سه سیکل، تحت شرایط هیدرولیکی مختلف انجام شد. نتایج این تحقیق 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 سرریزکلید پیانویی به مقدار ۲۶ درصد افزایش یافت. بررسی اثر تعداد سیکل نشان داد حداکثر ضریب آبگذری در سرریز دو سیکل بین ۰/۶ تا ۰/۷۶ و برای سرریز سه سیکل بین ۰/۴ تا ۰/۵۹ بود و در کلیه مراحل، عملکرد سرریز ۲ سیکل بهتر از ۳ سیکل بوده بطوری‌که ۲۹٪ افزایش ضریب آبگذری داشته است. علت این امر، پیچیده تر شدن شرایط جریان در سرریز سه سیکل و تداخل بیشتر خطوط جریان، استغراق موضعی، افت انرژی بیشتر در این شرایط و افزایش تعداد سیکل در یک عرض مشخص با طول موثر یکسان می‌باشد. در این تحقیق شرایط بهینه سرریز کلید پیانویی نوع A از نظر تاثیر توام شیب کلیدها و نسبت عرض ورودی به خروجی، با استفاده از دماغه مثلثی بررسی شد و نتایج نشان داد که سرریز کلید پیانویی با نسبت عرض کلید ۱/۲۵ و شیب ۲۵/۲ ٪ با دماغه مثلثی بهترین ترکیب را برای ایجاد حداکثر ضریب آبگذری ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سرریز کلید پیانویی، ضریب آبگذری، نسبت عرض کلید، مدل هیدولیکی

مقدمه

تخلیه آب از سرریزها معمولاً با دو مشکل اساسی خطر ناکافی بودن ظرفیت تخلیه سرریز و اثرات مخرب رسوبگذاری همراه است. گزارش‌های اعلام شده از خرابی سدها نشان می‌دهند که یک سوم از خرابی سدها بر اثر کم بودن ظرفیت تخلیه سرریزها رخ داده است (کریمی چهارطاقی و نظری، ۱۳۹۳). به همین دلیل کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ (ICOLD) توصیه کرده بمنظور اطمینان از امنیت سرریزهای سدهای بلند مجدداً مورد بررسی قرار گیرند. بنابراین باید برای طراحی سرریز، سیلاب‌ها را با دوره بازگشت بزرگ‌تری در نظر گرفت که این امر سبب افزایش عرض سرریز و به تبع آن بالا رفتن قیمت ساخت سرریز می‌شود. یک راه حل مناسب، طراحی سرریز کلید پیانویی است. سرریزهای کلید پیانویی شکل جدیدی از سرریزهای زیگزاگی هستند که توسط موسسه هیدرو کوپ[۴] فرانسه و آزمایشگاه هیدرولیک و محیط زیست دانشگاه بیسکرا[۵] الجزایر مورد بررسی قرار گرفتند (Laugier, 2007) .

تحقیقات اومانه و لمپریر، های و همکاران نشان دادند که اگر دهانه ورودی بزرگتر از دهانه خروجی در نظر گرفته شود، باعث افزایش دبی عبوری سرریز می‌شود (Ouamane and Lempérière, 2006)، (Hai et al., 2006). مطالعات آزمایشگاهی اومانه و لمپریر نشان داد که در سرریزهای کلید پیانویی دو نوع جریان وجود دارد. در نوع اول، کلید ورودی جریان‌های نزدیک شونده را به سمت خود کشیده و مشابه سرریزهای لبه تیز با بدنه شیب‌دار جریان از روی تاج ورودی بصورت ریزشی به سمت پایین دست تخلیه می‌شود. در نوع دوم، بر روی کلیدهای خروجی شکل می‌گیرد. در این‌حالت، جریان

۱- دانشجوی دکتری رشته سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب ، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

4- Hydrocoop
5- Biskra

www.SID.ir

Archive of SID

عبوری از روی تاج خروجی، مشابه یک جت به سمت پایین دست بخش شیبدار کلید، تخلیه می‌شود (Ouamane and Lempérière, 2006). لی دیوسن و همکاران با انجام مطالعاتی بر روی سرریزهای کلید پیانویی بیان داشتند که استفاده از عرض بیشتر برای کلید ورودی نسبت به کلید خروجی موجب بهبود عملکرد هیدرولیکی این سرریزها می‌شود (Le Doucen et al., 2009). ریبیرو و همکاران به مطالعه برروی سرریزهای کلید پیانویی پرداختند. آنها در نهایت با ارائه ضرایب کاهشی و مقایسه رابطه عمومی سرریزها، ضریبی را برای جریان تعریف کردند. در رابطه آنها نسبت طول کل تاج به عرض کل تاج (L-W/WH)، ضریب آبگذری به نسبت عرض کلید ورودی به خروجی (w_i/w_o)، نسبت ارتفاع کلید خروجی به ورودی (P_o/P_i)، نسبت بین شیروانی‌های بالادست و پایین دست با طول پایه سرریز (Bo+Bi/B) و ارتفاع پاراپت وال (R_o/R_i) بستگی داشت (Ribeiro et al., 2011). آنها همچنین بیان داشتند که بیشترین راندمان سرریز در نسبت عرض کلید ورودی به خروجی با مقادیر بزرگتر از ۱ صورت می‌گیرد که در همین راستا موثرترین بخش در نسبت ذکر شده را کلید ورودی سرریز می‌باشد. کبیری سامانی و جواهری (۱۳۹۱)، برای تعیین تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی جریان در سریزهای کلید پیانویی، آزمایشات متعددی بر روی ۲۰ مدل آزمایشگاهی با هندسه متفاوت انجام دادند. در نهایت با استفاده از معادله عمومی سرریزها، معادله‌ای که کمترین خطا را داشت را به عنوان بهترین رابطه برای تعیین ضریب دبی سرریز در حالت جریان آزاد ارائه دادند. احمدی و همکاران (۱۳۹۳) به مطالعه عددی هیدرولیک جریان در سرریزهای کلید پیانویی با ابعاد هندسی مختلف با استفاده از نرم‌افزار Flow 3D پرداختند. آنها روند تغییرات ضریب آبگذری به ازای نسبت‌های مختلف از بار هیدرولیکی را دنبال کردند. نتایج حاصل از مدل عددی آنها نشان داد محدوده بهینه W_i/W_o برای ضریب آبگذری تقریباً بین 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. مهبودی و همکاران (۱۳۹۳) به مقایسه ضریب آبگذری در دو سرریز کلید پیانویی ذوزنقه‌ای و مستطیلی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سرریزهای کلید پیانویی ذوزنقه‌ای کارایی بهتری نسبت به سرریزهای کلید پیانویی مستطیلی دارند. شهابی راد و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی آزمایشگاهی اثر شیب ورودی و خروجی (۳۰، ۴۵، ۶۰ درجه) بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کلیدپیانویی با ارتفاع ثابت دریافتند که سرریز کلیدپیانویی با شیب ورودی و خروجی ۶۰ درجه دارای مقدار ضریب دبی عبوری بیشتری نسبت به دو حالت دیگر است.کاوه نسب و گوهری (۱۳۹۶) به بررسی تاثیر شیبدار کردن وجه بالادست سرریزهای اوجی در ضریب تخلیه و مشخصات جریان پرداخته‌اند و نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که با تغییر شیب وجه بالادست سرریز (افزایش شیب بالادست)، ضریب دبی جریان و در نتیجه ظرفیت تخلیه سرریز با افزایش شیب بالادست سرریز اوجی افزایش می‌یابد. رستمی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی آزمایشگاهی ضریب آبگذری در سرریزهای تک سیکل و دو سیکل کلید پیانویی و مقایسه آن با سرریز زیگزاگی پلان مستطیلی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که ضریب آبگذری در سرریزهای کلید پیانویی نسبت به سرریزهای زیگزاگی مستطیلی حدود ۳۸٪ افزایش داشته است. روشنگر و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی و ارزیابی تاثیر تغییرات پارامترهای هندسی بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای و کلید پیانویی پرداختند. در این تحقیق چهار نوع سرریز شامل سرریز کنگره‌ای، سرریز کنگره‌ای قوسی ،سرریزکلید پیانویی و سرریز کلید پیانویی قوسی در آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرریزهای قوسی کارایی بیشتری نسبت به سایر سرریزهای مذکور دارند. با افزایش H_d/P، مقدار ضریب دبی این سرریزها به هم نزدیک می‌شوند که با افزایش زاویه سیکل قوسی برتری سرریزهای کلیدپیانویی نسبت به سرریزهای کنگره‌ای بیشتر می‌شود.

اومانه و همکاران، به بررسی بیست سال پژوهش در دانشگاه بیسکرا بر روی سرریزهای زیگزاگی و کلیدپیانویی پرداختند. آنان بیان داشتند از بین ۳۴۰۰۰ پژوهش انجام شده در دانشگاه بیسکرا، ۴۰۰ پژوهش در زمینه هیدرولیک بوده است و تا قبل از سال ۲۰۰۰ میلادی، تحقیقات برروی بهینه‌سازی سرریزهای زیگزاگی متمرکز بود و از سال ۲۰۰۰ میلادی تا کنون، تحقیقات فشرده‌ای در خصوص بهینه‌سازی طراحی سرریزهای کلیدپیانویی به عنوان راه حلی جدید انجام شده است. در همین راستا نتایج نشان داد که ظرفیت تخلیه سرریز کلید پیانویی می‌تواند تا ۵ برابر به ازای هد ثابت افزایش یابد (Ouamane et al., 2017) بلزنر و همکاران، به مطالعه سرریزهای کلیدپیانویی و زیگزاگی با در نظر گرفتن شرایط جریان آزاد و مستغرق این سرریزها پرداختند. آنان در تحقیق خود از مدل فیزیکی سرریزهای زیگزاگی مستطیلی، مثلثی و ذوزنقه‌ای و سرریزهای کلیدپیانویی نوع A و C بهره گرفتند. نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان داد که 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 (Belzner, 2017). قنبری و حیدرنژاد (۲۰۲۰) به بررسی آزمایشگاهی و تجزیه و تحلیل عددی هیدرولیک جریان در سرریزهای کلید پیانویی مثلثی و مستطیلی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ضریب آبگذری در سرریزهای کلید پیانویی مثلثی ۲۵٪ بیشتر از مستطیلی بوده است .

اگرچه تحقیقات مختلفی بر روی تاثیر نسبت عرض کلید ورودی به خروجی (W_i/W_o) انجام شده است ولی اکثر این تحقیقات برای سرریز کلید پیانویی با دماغه مستطیلی بوده است. از آنجا که تاثیر توام

www.SID.ir

Archive of SID

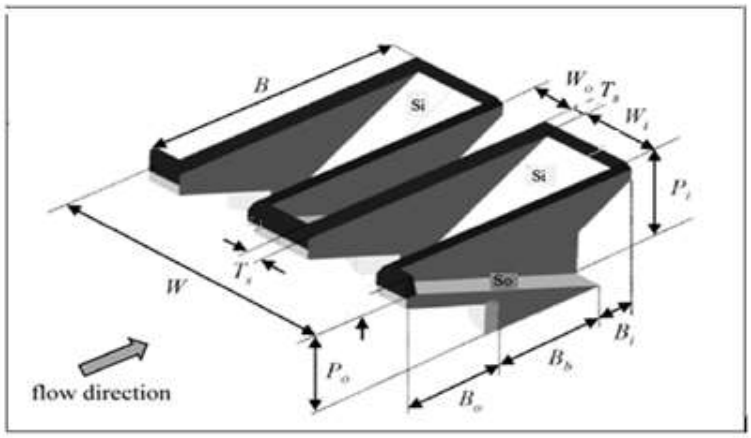
نسبت عرض و شیب کلیدهای ورودی و خروجی همچنین بررسی نقش تعداد سیکل‌ها در یک عرض مشخص تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته است، در این تحقیق نوع خاصی از سرریز کلیدپیانویی با دماغه مثلثی بررسی شده است و علاوه بر این اثر توام نسبت عرض و شیب کلیدهای ورودی و خروجی بر سرریزهای دو و سه سیکل مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

سرریز کلیدپیانویی دارای یک هندسه پیچیده است که هریک از پارامترهای آن نقش مهمی در ظرفیت تخلیه دارد. پارامترهای اصلی سرریز کلیدپیانویی که در شکل ۱ نشان داده شده است عبارتند از ضخامت تاج (T_s)، ارتفاع کلید ورودی از تاج (P_i)، ارتفاع کلید خروجی از تاج (P_o)، عرض کلید ورودی (W_i)، عرض کلید خروجی (W_o)، طول شیروانی کلید ورودی (B_i)، طول شیروانی کلید خروجی (B_o)، طول پایه (B_b)، طول دیواره جانبی (B)، شیب کلید ورودی (S_i)، شیب کلید خروجی (S_o) ، عرض کل سرریز(W).

این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک سازمان آب و برق خوزستان و بر روی یک فلوم آزمایشگاهی مستطیلی به طول ۶ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر انجام شد که حداکثر ظرفیت دبی عبوری از آن ۵۵ لیتر بر ثانیه بود (شکل ۲ و ۳).

قرائت عمق هیدرولیکی در بالادست سرریز با توجه به توصیه باس (Bos, 1976) در فاصله ۳ تا ۴ برابر حداکثر عمق هیدرولیکی بر روی سرریز و با استفاده از عمق‌سنج مکانیکی انجام شد (شکل ۴)

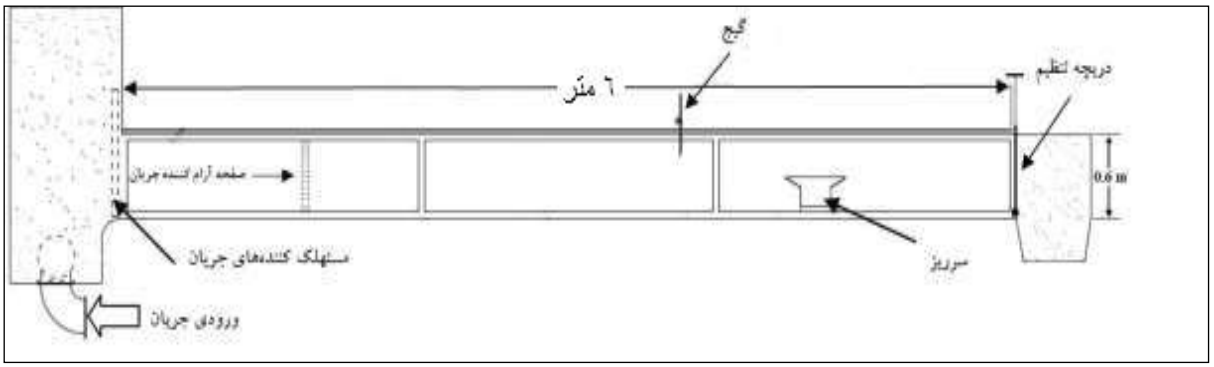


شکل ۱- پارامترهای مختلف سرریز کلیدپیانویی

شکل ۲- فلوم آزمایشگاهی در تحقیق حاضر

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- شماتیک مقطع طولی فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده

شکل ٤- عمق‌سنج مکانیکی

بمنظور بالابردن دقت و حذف خطا جهت قرائت عمق هیدرولیکی از یک عمق سنج مکانیکی با قابلیت حرکت طولی و عرضی با دقت ۱ میلی متر استفاده شد. قرائت از هر نقطه ۳ بار و در فواصل زمانی ۵ دقیقه انجام گردید. جهت بدست آوردن ضریب آبگذری از رابطه عمومی سرریزها که در رابطه ۱ ارائه شده است؛ استفاده شد.

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}C_d L_t H_d^{1.5} \qquad (۱)$$

که در آن Qدبی ، gشتاب ثقل ، C_d ضریب آبگذری ، L_t طول موثر و H_d بار هیدرولیکی می باشد.

ضریب آبگذری تابع پارامترهای مختلفی است که با استفاده از آنالیز ابعادی به روش π باکینگهام (شفاعی بجستان، ۱۳۹۰) بصورت پارامترهای بی بعد مطابق رابطه ۲ بدست آمد. با بررسی این پارامترهای بی بعد مشخص شده که هر کدام معادل چه پارامتر بی بعد مهم در هیدرولیک می باشد که در رابطه ۳ آورده شده‌اند.

(۲)

$$C_d = f\left(\frac{\mu H_d}{\rho Q}, \frac{\sigma}{\rho H_d}, \frac{gH_d}{V^2}, \frac{W_i}{W_o}, \frac{B_i}{B_o}, \frac{L_t}{B_i}, n, N\right)$$

$$C_d = f\left(R_e, W_e, F_r, \frac{H_d}{P}, \frac{W_i}{W_o}, \frac{B_i}{B_o}, \frac{L_t}{B_i}, n, N\right) \qquad (۳)$$

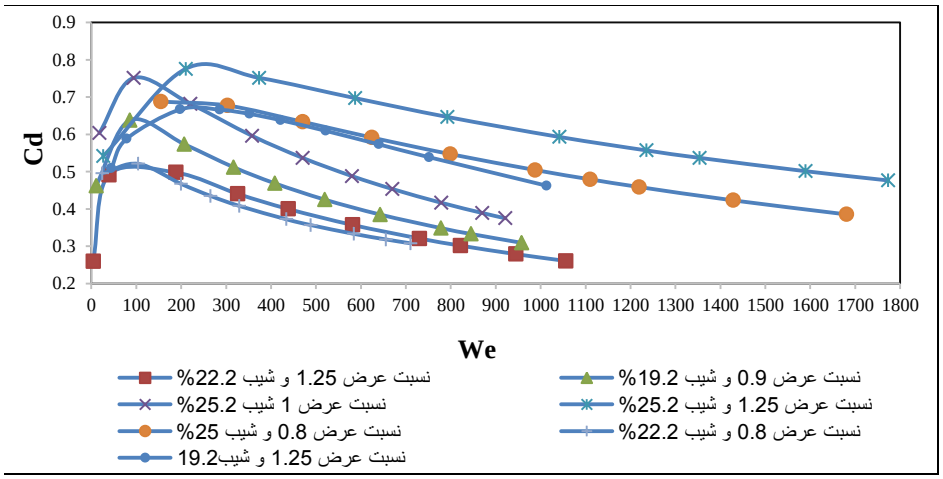
با توجه به شرایط آزمایش ها، پارامترهایی که اثر کمتری داشتند و یا اثر آنها در سایر پارامترها لحاظ شده بود حذف شدند. از آنجا که

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش‌ها با محاسبه حداقل و حداکثر عدد رینولدز در محدوده جریان‌های آشفته قرار داشت ($5000\leq Re \leq 85000$) بنابراین از اثر لزجت صرف نظر شد و عدد رینولدز از بین متغیرها کنار گذاشته شد.

از آنجا که عدد وبر در محدوده اعداد بیش از ۱۰۰ بی‌تاثیر می‌باشد (شمسایی و سارنگ، ۱۳۸۴) با توجه به هدف انجام این تحقیق که بررسی حداکثر ضریب آبگذری سرریز بوده است محدوده مورد نظر (شکل ۵)، در اعداد وبر بالای ۱۰۰ قرار می‌گیرد به همین دلیل از اثر نیروی کشش سطحی صرف‌نظر می‌گردد.



شکل ۵- اعداد وبر بدست آمده در این آزمایش

از ضریب زبری مانینگ (n) نیز با توجه به ثابت بودن آن صرفنظر گردید. در همه آزمایش‌ها $B_i/B_o=1$ بود؛ بنابراین این پارامتر نیز حذف گردید. از آنجا که $B_i=B_o$ بود در تمام آزمایش‌ها $S_i=S_o$ بدست آمد. بنابراین از پارامتر S به عنوان شیب ورودی و خروجی استفاده شد. طول کل سرریز ($L_t=2N(B-T_s)+W$) متأثر از تعداد سیکل (N)، عرض کل (W)، طول کلیدهای ورودی و خروجی (B_i و B_o)، ضخامت دیواره‌ها (T_S) می‌باشد اثر این پارامتر در بقیه پارامترها در نظر گرفته شد و پارامتر L_t/B_i حذف گردید. به دلیل اینکه $B_i=B_o$ بود بنابراین یکی از پارامترهای $B_o/P=B_i/P$ حذف شد و از آنجا که B_b/P متغیر بود از ترکیب با پارامتر B_i/P، B_b/Bi بدست آمد. در نهایت C_d بصورت تابعی از پارامترهای رابطه ۵ ارائه گردید:

$$C_d = f(Fr, \frac{H_d}{P}, \frac{W_i}{W_o}, \frac{B_b}{B_i}, S, N) \quad (۵)$$

که در آن Fr عدد فرود کانال بالادست سرریز، H_d/P نسبت بار هیدرولیکی، W_i/W_o نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی، B_b/B_i نسبت طول پایه به طول شیروانی کلید ورودی، S شیب و N تعداد سیکل می‌باشد. با بررسی تحقیقات گذشته مانند تولیس و اندرسون (۲۰۱۳) ، میشلز (۲۰۱۲) ، مشخص شد که این تابع، تابع مناسبی می‌باشد و اثر همه پارامترهای موثر را در آن لحاظ شده است.

الف) سه سیکل ب) دو سیکل

شکل ٦- مدل فیزیکی سرریزهای کلیدپیانویی ساخته شده در این تحقیق

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- پارامترهای هندسی سرریز کلیدپیانویی در تحقیق حاضر

پارامتر هندسی	نوع سرریز	
	۲ سیکل	۳ سیکل
ارتفاع کل تاج cm (P)	۱۰	۶/۷
عرض کل تاج cm (W)	۶۰	۶۰
عرض سیکل cm (w)	۳۰	۲۰
طول سرریز در جهت جریان cm(L_1)	۶۰	۴۰
ضخامت دیواره سرریز cm (T_s)	۰/۵	۰/۵
طول دیواره جانبی cm ($B = B_i + B_o + B_b$)	۶۰	۴۰
طول شیروانی کلید ورودی و خروجی cm ($B_i = B_o$)	۸ – ۱۵ - ۲۰	۵/۳ – ۱۰ - ۱۳/۳
طول پایه cm(B_b)	۴۴ – ۳۰ - ۲۰	۲۹/۳۳ – ۲۰ - ۱۳/۳
شیب کف کلیدهای ورودی و خروجی% ($S_i = S_o$)	۲۵/۲–۲۲/۲–۱۹/۲	۲۵/۲–۲۲/۲–۱۹/۲
طول موثر تاج سرریز cm (L_t)	۲۹۸	۲۹۷

جدول ۲- طرح انجام آزمایش سرریزهای کلیدپیانویی دو و سه سیکل در تحقیق حاضر

تعداد سیکل	تعداد مدل	H_d/P	W_i/W_o	B_b/B_o
۲ و ۳	۱۸	۰/۰۵–۱/۱۷	۰/۸ ،۱ ،۱/۲۵	۱ ،۲ ،۵/۵

محدوده داده‌های مورد استفاده در جدول ۲ آورده شده است. در این جدول، (Q) ظرفیت آبگذری، (H_d/P) نسبت بار هیدرولیکی در بالادست سرریزبه ارتفاع سرریز، (W_i/ W_o) نسبت عرض کلید ورودی به خروجی سرریز، (B_b/B_o) نسبت طول دیواره جانبی به طول بالادست و (N) تعداد سیکل‌های سرریز می‌باشد.

داده‌های هیدرولیکی در ۲ نقطه به فواصل ۴۰ و ۱۰۰ سانتی‌متر از بالادست سرریز و ۲ نقطه دیگر نیز به فواصل ۵۰ و ۱۰۰ سانتی‌متری از پایین‌دست سرریز قرائت می‌شد. شایان ذکر است که تعداد ۱۰ دبی برای هر سرریز در نظر گرفته شد و داده‌های مربوطه برداشت گردید. همچنین با توجه به در نظر گرفتن سیستم تخلیه فلوم، انجام تمام آزمایش‌ها، بدون کنترل پایین‌دست صورت می‌گرفت. با توجه به این که در سرریزهای کلید پیانویی دو و سه سیکل، سه نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی و سه شیب کلید بررسی شد، ۱۸عدد سرریز، مورد آزمایش قرار گرفت و از آنجایی که از هر سرریز ۱۰ دبی متفاوت عبور داده شد،۱۸۰ آزمایش انجام گردید. شایان ذکر است که سرریزها با دماغه مثلثی مورد بررسی قرار گرفتند. بعد از مشخص شدن بهترین سرریز از نظر عملکرد هیدرولیکی، سرریزی با تعداد سیکل، نسبت عرض و شیب کلید مشابه با دماغه مستطیلی ساخته شد و عملکرد هیدرولیکی سرریز از نظر اثر دماغه بررسی شد. در جدول ۳ پارامترهای برداشت شده در آزمایش‌ها، محل برداشت و هدف از برداشت داده ها مشخص شده است.

جدول ۳- پارامترهای برداشت شده در آزمایش‌ها

ردیف	پارامترهای برداشت شده در آزمایش‌ها	محل برداشت	هدف
۱	دبی	سرریز مثلثی	اندازه‌گیری میزان دبی
۲	ارتفاع آب بالا دست	بالادست سرریز کلید پیانویی	تعیین هد هیدرولیکی
۳	ارتفاع پایین دست	پایین دست سرریز کلید پیانویی	محاسبه عمق و دبی استغراق

نتایج و بحث

با توجه به شکل‌های ۷ ،۸ و ۹ مشخص شد که با کاهش تعداد سیکل، ضریب آبگذری افزایش می‌یابد و از سوی دیگر با افزایش نسبت بار هیدرولیکی، ضریب آبگذری سیر کاهشی به خود می‌گیرد. شکل‌های یاد شده مقایسه نتایج ضریب آبگذری برای نسبت W_i/W_o ها و S های مختلف را نشان می‌دهند.

در تمام شکل‌ها مشخص شد که مقدار حداکثر ضریب آبگذری در سرریز دو سیکل از سرریز سه سیکل بیشتر است. بهترین عملکرد سرریز دو سیکل و سه سیکل در شرایط W_i/W_o= ۱/۲۵ و S=٪ ۲۵/۲ بوده است.

حداکثر ضریب آبگذری در سرریز دو سیکل بین ۰/۶ تا ۰/۷۶ متغیر می‌باشد که از حداکثر ضریب آبگذری سرریز سه سیکل که بین ۰/۴ تا ۰/۵۹ متغیر است در حدود ۲۹٪ بیشتر می‌باشد.

علت این امر پیچیده تر شدن شرایط جریان در سرریز سه سیکل

www.SID.ir

Archive of SID

و تداخل خطوط جریان، استغراق موضعی و افت انرژی بیشتر در این شرایط می‌باشد.

در سرریزهای کلید پیانویی دو سیکل با نسبت‌های عرض و شیب متفاوت مشخص گردید که در بارهای هیدرولیکی خیلی کم، سرریزها در مرحله چسبندگی قرار داشته و با چسبیدن تیغه نازک جریان به بدنه سرریز موجب افت فشار، ایجاد فشار منفی به بدنه سرریز و نوسانات جریان گردیده و احتمال وقوع کاویتاسیون در دیواره سرریز را افزایش می‌دهد.

در گام بعد با افزایش دبی ورودی سریزها مشخص شد که بطور کلی، ضریب آبگذری افزایش یافته و در نسبت عرض ۱/۲۵ و در شیب ۲۵/۲ ٪ در $0/2 \geq H_d/P \geq 1/0$ به حداکثر آبگذری رسیده است. علت امر، افزایش تدریجی بار هیدرولیکی بوده و در واقع نشان دهنده گذر از مرحله چسبندگی و ورود به مرحله هوادهی می‌باشد. در شیب‌های مورد بررسی عملکرد هیدرولیکی سرریزهای دو سیکل در نسبت عرض ۱/۲۵ بهتر بوده و نسبت به عرض‌های دیگر در نسبت بار هیدرولیکی حدود ۰/۱، بترتیب در شیب ۱۹/۲ ٪، ۱۰/۴ ٪ و ۲۶٪ در شیب٪ ۲۲/۲، بترتیب ۸/۹ ٪ و ۱۵/۸ ٪ و در شیب ۲۵/۲ ٪، بترتیب ۵/۵ و ۱۸/۷ درصد افزایش ضریب آبگذری را داشته است. در سرریزهای سه سیکل نیز در نسبت عرض ۱/۲۵ بهترین عملکرد را داشته است و بترتیب در نسبت بار هیدرولیکی حدود ۰/۲ در شیب ۱۹/۲ ٪، ۵٪ و ۱۴٪ در شیب ۲۲/۲ ٪، ۴ ٪ و ۱۴ ٪ و در شیب ۲۵/۲٪، ۴ درصد و ۱۶ درصد دارای ضریب آبگذری بیشتری است. در سرریزهای مورد بررسی در شیب ۲۵/۲ ٪ حداکثر هوادهی کامل در $0/2 \geq H_d/P \geq 1/0$ رخ داده است.

علت این امر این است که با افزایش سطح کلیدهای ورودی، جریان های نزدیک شونده، بیشتر به سمت پایین دست، هدایت شده همچنین با افزایش سرعت و با کاهش افت انرژی موجب افزایش راندمان هیدرولیکی سرریز می‌شود. هدایت حجم بیشتر جریان به قسمت‌های کلیدهای ورودی و توزیع مناسب‌تر جریان در طول تاج سرریز و حذف فشردگی خطوط جریان بر روی تاج کلید های ورودی موجب گردید، سرریز با نسبت عرض ۱/۲۵، بیشترین ضریب آبگذری را به خود اختصاص دهد. سپس با افزایش نسبت H_d/P، ضریب آبگذری روند کاهشی به خود گرفته و در تمامی سرریزها پس از رسیدن به نقطه ماکزیمم، با افزایش نسبت H_d/P، ضریب آبگذری کاهش یافت. کاهش ضریب آبگذری در این حالت به دلیل رسیدن به مرحله خفگی و استغراق موضعی در سرریز بود. بعد از مرحله هوادهی کامل که بطور دائم حباب هوا در جریان خروجی مشاهده شد وارد مرحله هوادهی جزئی شده که در این مرحله حباب های هوا بصورت موضعی بود. در این مرحله تداخل جریان در کلید های خروجی نیز از نظر شرایط فشار، نوسانات جریان و احتمال وقوع کاویتاسیون همانند مرحله هوادهی بود. بعد از مرحله هوادهی جزئی، سرریز وارد مرحله خفگی گردید. در این حالت با برخورد جریان با سرعت زیاد به بدنه سرریز و با ایجاد فشار منفی، احتمال وقوع کاویتاسیون افزایش یافته و سرریز عملکرد هیدرولیکی خود را از دست می‌دهد. همچنین با تشکیل موج‌های ایستاده و تشکیل استغراق موضعی کارایی سرریز کم شده و ضریب آبگذری کاهش می‌یابد.

در تحقیق حاضر ۳ شیب ۱۹/۲، ۲۲/۲ و ۲۵/۲ درصد مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که با افزایش شیب کلیدهای ورودی و خروجی، راندمان سرریزها بهبود یافته و ضریب آبگذری افزایش یافت. نتایج نشان داد که با افزایش شیب در سرریزهای دو سیکل از ۱۹/۲ تا ۲۵/۲ درصد، میزان آبگذری در نسبت بار هیدرولیکی حدود ۰/۱ در نسبت عرض ۱/۶،۰/۸ ٪ و ۸/۴ ٪ در نسبت عرض۱، ۳٪ و ۷/۹ ٪ و در نسبت عرض ۱/۲۵، ۲/۷ ٪ و ۴/۱ ٪ افزایش یافته است. در سرریزهای سه سیکل نیز ضریب آبگذری در سرریزهای با نسبت عرض ۱/۲۵ و شیب ۲۵/۲ ٪ بیشترین مقدار را داشته که نسبت به عرض‌های دیگر در شیب‌های ۱۹/۲ ٪ و ۲۲/۲ ٪ دارای ۲۵ ٪ و ۱۲/۷ ٪ ضریب آبگذری بیشتری می‌باشد.

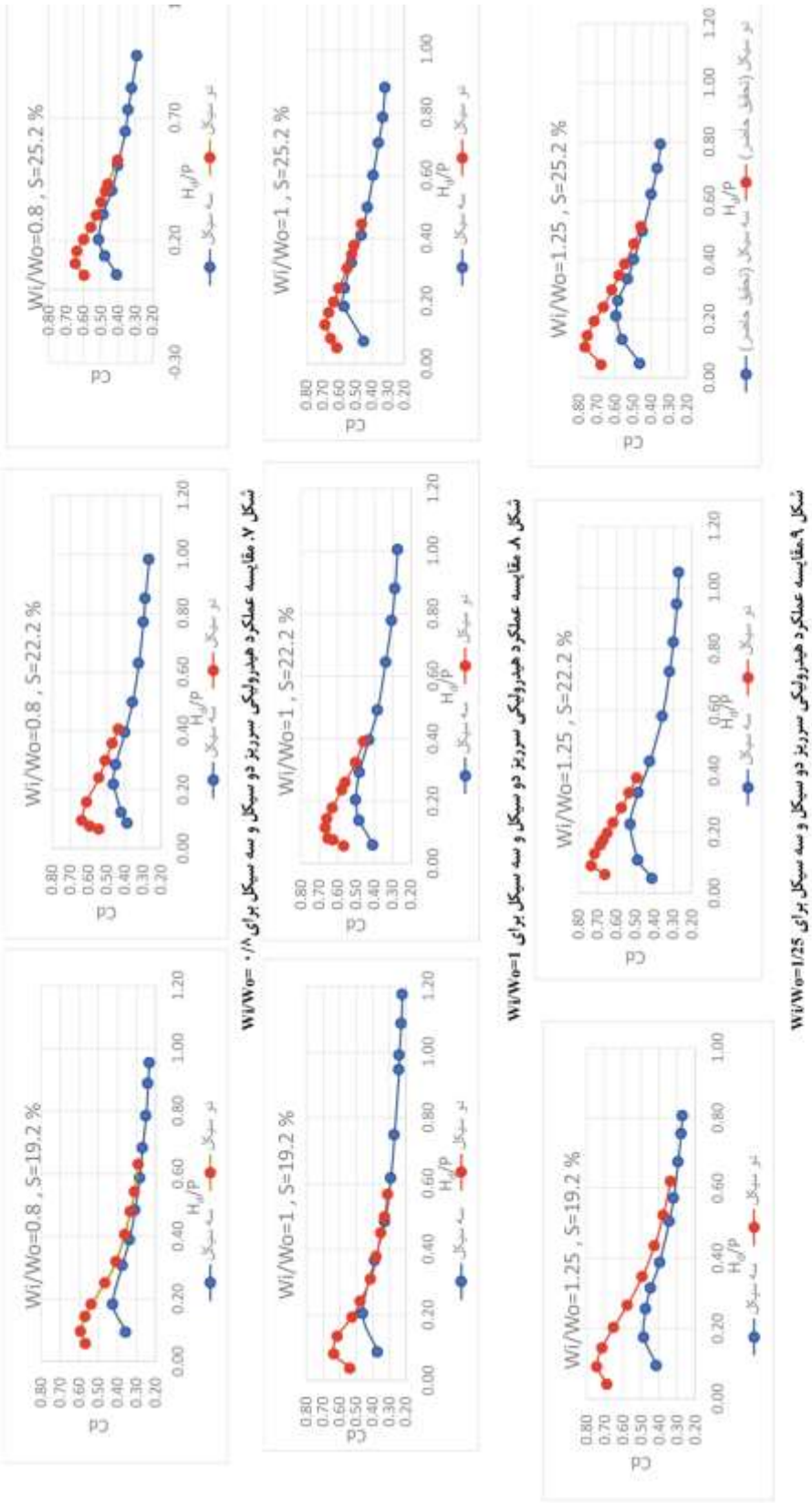
بررسی تغیرات شیب بر ضریب آبگذری در سرریزهای کلید پیانویی و اوجی براساس تحقیقات مختلف ازجمله شهابی راد و همکاران ۱۳۹۴و کاوه نسب و گوهری ۱۳۹۶ نشان داد که در تمامی تحقیقات انجام شده و تحقیق حاضر افزایش شیب کلید موجب افزایش ضریب آبگذری شده است. با وجود شرایط متفاوت آزمایشگاهی از جمله طول موثر سرریز ،ارتفاع سرریز و ... روند آزمایشات محققین مذکور مشابه بوده و افزایش شیب موجب افزایش ضریب آبگذری شده است.

افزایش شیب در کلیدهای ورودی و خروجی همراه با افزایش نسبت عرض، به دلیل افزایش سطح کلیدهای ورودی، توزیع یکنواخت جریان، هدایت جریان، حذف فشردگی خطوط جریان بر روی تاج کلیدهای ورودی، کاهش فشار منفی و کاهش احتمال وقوع کاویتاسیون؛ موجب افزایش راندمان هیدرولیکی و ضریب آبگذری در سرریز می‌شوند.

با توجه به تغییرات نسبت عرض مشخص شد که با افزایش نسبت عرض در سرریزهای کلید پیانویی مورد مطالعه، با توجه به شرایط هیدرولیکی جریان و پارامترهای کیفی، هر چه نسبت عرض افزایش یابد جریان بیشتری به پایین دست منتقل شده که موجب افزایش ضریب آبگذری می‌شود همچنین با افزایش شیب نیز به علت تسهیل انتقال خطوط جریان به پایین دست اجازه نمی‌دهدکه موج برآمده حاصل از تداخل تیغه های جریان در نزدیکی کلیدهای خروجی تشکیل شود و این موج را به فاصله پایین تر هدایت می‌کند و موجب می‌گردد که C_d افزایش یافته و افت انرژی کاهش یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۷. مقایسه عملکرد هیدرولیکی سرریز دو سیکل و سه سیکل برای Wi/Wo= ۰/۸

شکل ۸. مقایسه عملکرد هیدرولیکی سرریز دو سیکل و سه سیکل برای Wi/Wo=1

شکل ۹.مقایسه عملکرد هیدرولیکی سرریز دو سیکل و سه سیکل برای Wi/Wo=1/25

www.SID.ir

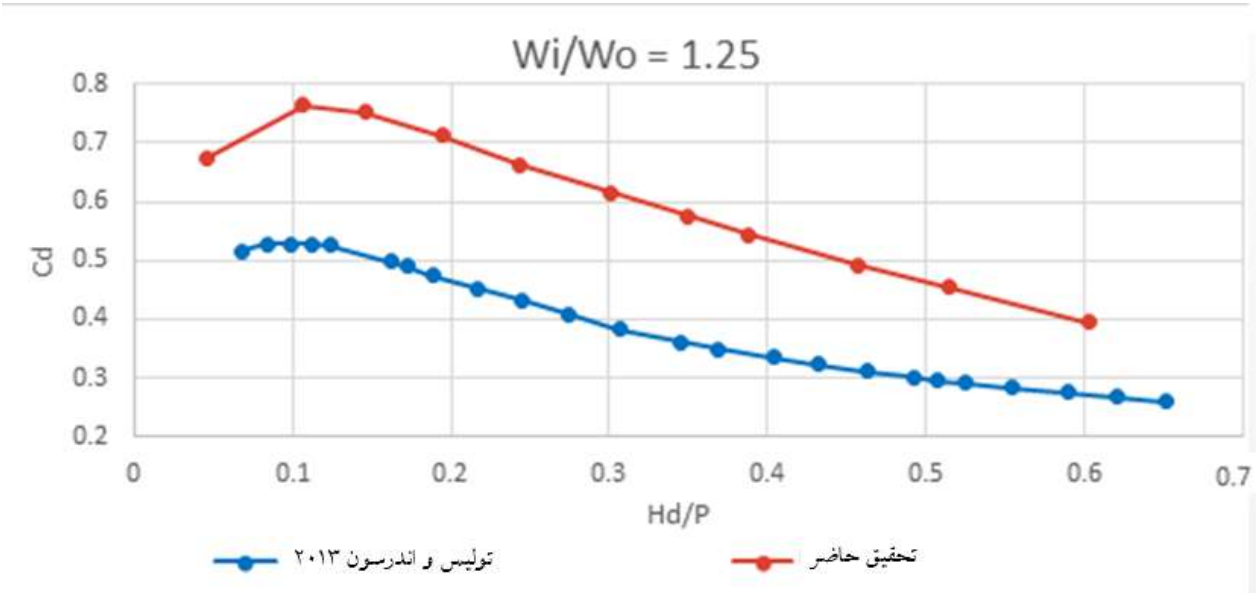
Archive of SID

بررسی پارامترهای هیدرولیکی و هندسی در سرریزهای ۲ و ۳ سیکل

بررسی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی موثر در سرریزهای کلید پیانویی مورد بررسی نشان می‌دهد که سرریز کلید پیانویی در بارهای هیدرولیکی کم روند صعودی و عملکرد هیدرولیکی بهتری داشته و با روندی صعودی به حداکثر مقدار خود می‌رسد و بعد از آن روندی نزولی دارد که دلیل آن این است که ضریب تخلیه با افزایش هد آب بخاطر تداخل تیغه های جریان کاهش می‌یابد. همچنین بالاترین کارایی سرریزهای مذکور در هدهای هیدرولیکی کم (مرحله هوادهی) اتفاق می‌افتد که نتایج بدست آمده در این تحقیق متناسب با تحقیقات قیر و همکاران و تولیس و همکاران می‌باشد که بر طبق تحقیقات ایشان حداکثر ضریب آبگذری را در $۰/۲ \geq H_d/P \geq ۰/۱$ بیان نموده‌اند (Tullis et al., 1995; Ghare et al., 2008).

–در خصوص اثر نسبت W/P مشخص شد، بر طبق نظر لاکس و هاچینکف (۱۹۸۵) و تیلور (۱۹۶۸) نسبت W/P باید بین ۲ تا ۶ باشد ($۶ \geq W/P \geq ۲$) به همین دلیل این نسبت در تحقیق حاضر ۳ در نظر گرفته شد و ارتفاع سرریزهای ۲ و ۳ سیکل محاسبه گردید. در این تحقیق مشخص شد که افزایش ارتفاع سرریز موجب افزایش ضریب آبگذری سرریز می‌شود چراکه با در نظر گرفتن این نسبت در محدوده توصیه شده، تداخل لایه‌های جریان، کمتر سبب کاهش کارایی هیدرولیکی سرریز می‌شوند (Lux and Hinchcliff, 1985و(Taylor.1968). بررسی تعداد سیکل در یک نسبت عرض مشخص نشان داد با کاهش تعداد سیکل، به دلیل تداخل کمتر تیغه‌های جریان افزایش ضریب آبگذری ایجاد می‌شود به همین دلیل ضریب آبگذری سرریزهای دو سیکل بیشتر از سه سیکل بوده است.

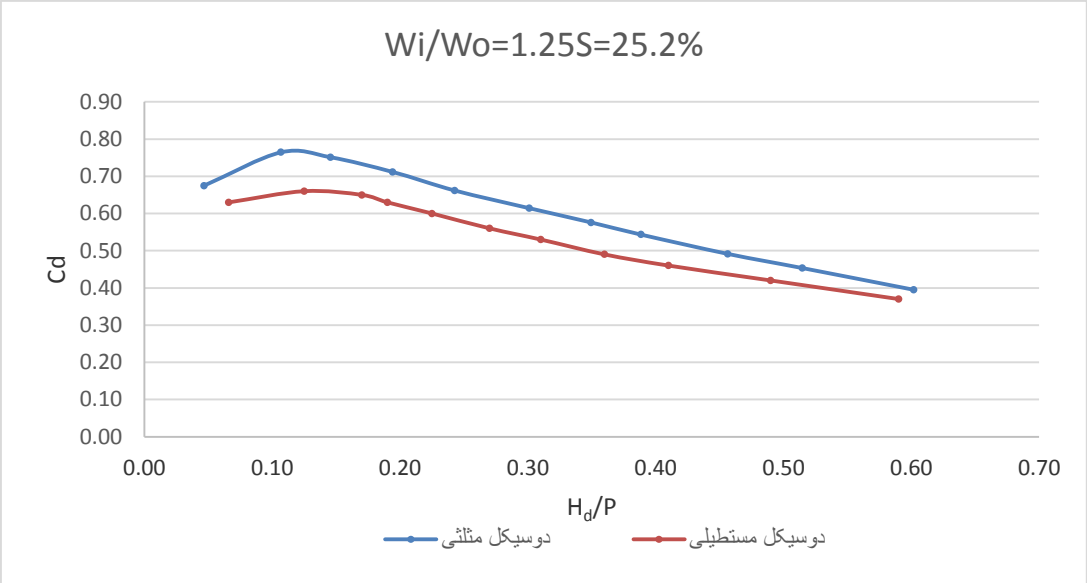
بررسی تاثیر نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی نشان می‌دهد که مقدار بهینه این نسبت بر طبق تحقیقات محققین از جمله تولیس (۱۹۹۵) و اندرسون بین ۰/۸ تا ۱/۲۵ معرفی شده است (Anderson, 2013). همچنین در تحقیقات میشلز محدوده W_i/W_o در محدوده ۱/۲۵ تا ۱/۵ بیشترین راندمان سرریز را به همراه داشته است، ایشان با بررسی فنی– اقتصادی، نسبت عرض W_i/W_o = ۱/۲۵ را به عنوان بهینه هیدرولیکی و W_i/W_o =۱/۵ را بهینه اقتصادی معرفی کردند (Machiels , 2012). در تحقیق انجام شده نسبت عرض‌ها جهت مقایسه با کار تولیس و اندرسون از ۰/۸ تا ۱/۲۵ در نظر گرفته شده و نتایج نشان داد که افزایش نسبت عرض موجب افزایش ضریب آبگذری سرریز و افزایش راندمان هیدرولیکی سرریز می‌شود. بطوری‌که با افزایش نسبت عرض از ۰/۸ تا ۱/۲۵ ضریب آبگذری به میزان ۲۶ ٪ افزایش داشته است.



شکل ۱۰- مقایسه ضریب آبگذری سرریز کلید پیانویی تحقیق حاضر با نتایج اندرسون و تولیس (۲۰۱۳)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۱- مقایسه ضریب آبگذری سرریز کلی پیانویی با دماغه مستطیلی و مثلثی

مقایسه سرریزها در دو مرحله، شامل مقایسه عملکرد سرریزهای دو و سه سیکل به تنهایی و بررسی عملکرد هیدرولیکی آن سرریزها با هم انجام گرفت. سپس بمنظور بررسی اثر دماغه بر راندمان هیدرولیکی سرریزها با شیب و نسبت عرض‌های مختلف، بهترین نتیجه کار خود را با بهترین نتیجه کار تولیس و اندرسون مقایسه کرده و این نتیجه حاصل شد که ضریب آبگذری تحقیق حاضر ۴۴٪ بیشتر از ضریب آبگذری تحقیق تولیس و اندرسون (۲۰۱۳) می‌باشد که این اختلاف به علت وجود دماغه مثلثی و به تبع آن کاهش افت هیدرولیکی جریان در زمان ورود به سرریز می‌باشد. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده مشخص شد که سرریز کلید پیانویی دو سیکل با شیب ۲۵/۲ ٪ و نسبت عرض ۱/۲۵ با دماغه مثلثی به عنوان سرریز بهینه از نظر هیدرولیکی می‌باشد.

بمنظور بررسی اثر دماغه مثلثی در شرایط تحقیق حاضر پس از انجام آزمایش‌ها و مشخص شدن بهترین سرریز از نظر عملکرد هیدرولیکی که سرریز ۲ سیکل با نسبت عرض ۱/۲۵ و شیب ۲۵/۲ ٪ بوده است سرریزی با همین شرایط با دماغه مستطیلی ساخته شد و مورد بررسی قرار گرفت. همانطور که در نمودار ۱۰ نتایج نشان داده شده است در تمامی مراحل تیغه جریان عملکرد سرریز کلید پیانویی با دماغه مثلثی بهتر از دماغه مستطیلی بود که با افزایش ۱۵ درصدی ضریب آبگذری همراه بوده است. علت این امر وجود دماغه مثلثی بوده که موجب کاهش افت هیدرولیکی جریان در زمان ورود به سرریزشده و با تسهیل انتقال خطوط جریان به کلید ورودی، افزایش ضریب آبگذری را به همراه دارد.

نتیجه‌گیری

با بررسی نسبت‌های عرض و شیب مشخص گردید که سرریزها در نسبت عرض کلید ۱/۲۵ و شیب ۲۵/۲٪ بیشترین راندمان هیدرولیکی را داشته‌اند. در سرریزهای دو سیکل بیشترین ضریب آبگذری ۰/۷۶ و در سرریزهای سه سیکل برابر ۰/۵۹ بوده است. افزایش نسبت عرض موجب شد جریان‌های عبوری بیشتری توسط کلید ورودی بصورت ریزشی به پایین دست منتقل شود که وقتی با افزایش شیب همراه شد به علت تسهیل انتقال خطوط جریان و انتقال موج‌های برآمده به فاصله بیشتری از پایین دست، موجب کاهش افت‌های موضعی و افزایش ضریب آبگذری گردید. بررسی اثر افزایش تعداد سیکل با طول موثر یکسان در یک عرض مشخص نشان داد که افزایش تعداد سیکل در شرایط مذکور موجب کاهش ضریب آبگذری می‌شود در حالی‌که اگر در جایی محدودیت جهت افزایش طول موثر سرریز وجود نداشته باشد افزایش تعداد سیکل موجب افزایش ضریب آبگذری می‌گردد. ایجاد دماغه مثلثی در سرریزهای مورد بررسی موجب افزایش کارایی و راندمان سرریزهای کلید پیانویی در مقایسه با سرریزهای کلید پیانویی با دماغه مستطیلی شد که با افزایش ۱۵ درصدی ضریب آبگذری همراه بوده است. در نهایت بهینه سازی سرریزهای کلید پیانویی با انتخاب نسبت عرض کلید ورودی به خروجی بهینه و شیب بهینه با انتخاب دماغه مثلثی انجام گردید.

منابع

احمدی، ح.، امین نژاد، ب.، و طاهباز عالی، ر. ۱۳۹۳. مطالعه عددی هیدرولیک جریان در سرریز کلید پیانویی. اولین کنفرانس ملی

www.SID.ir

Archive of SID

مهندسی عمران و توسعه پایدار ایران. بصورت الکترونیکی. مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

رستمی، ه.، بردبار، ا.، کمان بدست، ا.، حیدرنژاد، م. و حسین پور، م. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سرریزهای تک و دوسیکل کلید پیانویی و مقایسه آن با سرریز زیگزاگی پلان مستطیلی. نشریه تحقیقات مهندسی آبیاری و زهکشی. ۷۱: ۶۶-۷۶.

روشنگر، ک.، ماجدی اصل، م.، اعلمی، م.ت. و شیری، ج. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی جریان آزاد و مستغرق در سرریزهای کلید پیانویی. تحقیقات مهندسی سازه های آبیاری و زهکشی ۹.(۷۰):۱۱۳-۱۲۶.

شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۰. مبانی و کاربرد مدلهای فیزیکی و هیدرولیکی. ویرایش دوم. انتشارات دانشگاه شهید چمران. ص:۲۳۸

شمسایی، ا. و سارنگ، ا. ۱۳۸۴. کتاب مدل‌های هیدرولیکی: مفاهیم و کاربرد. انتشارات دانشگاه صنعتی شریف. ص۵۱.

شهابی راد، ن.، فضل اولی، ر.، و عمادی، ع. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی اثر شیب ورودی به خروجی بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کلیدپیانویی با ارتفاع ثابت ، کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، تبریز، ایران.

کاوه نسب، م. و گوهری، س. ۱۳۹۶. بررسی تاثیر شیبدار کردن وجه بالادست سرریزهای اوجی در ضریب تخلیه و مشخصات جریان. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. اردبیل. انجمن هیدرولیک ایران-دانشگاه محقق اردبیلی.

کبیری‌سامانی، ع. و جواهری، ا. ۱۳۹۱. تعیین ضریب دبی سرریزهای کلید پیانویی در حالت جریان آزاد. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه های برق آبی.

کریمی چهارطاقی، م. و نظری، س. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی مقایسه ضریب دبی درسرریزهای کلید پیانویی با تاج‌های متغیر. هشتمین کنگره ملی مهندسی عمران. بابل. دانشگاه صنعتی نوشیروانی.

مهبودی، ع.، عطاری، ج.، حسینی، ع. و جلیلی قاضی زاده، م. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی مقایسه سرریز کلید پیانویی با سرریزهای کنگره ای و خطی. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. تبریز. دانشگاه تبریز- گروه مهندسی آب.

Anderson, R.M. and Tullis, B.P. 2013. Piano Key Weir hydraulics and labyrinth weir comparison, Journal of Irrigation and Drainage Engineering. Vol 139. No 3. PP: -246-253.

Belzner, F., Merkel, J., Gebhardt, M. and Thorenz, C. 2017. Piano Key and LabyrinthWeirs at German waterways: Recent and future research of the BAW. Labyrinth and Piano Key Weirs III – PKW 2017 – Erpicum et al. (Eds) © 2017 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-05010-5.

Bos, M.G. 1976. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Wagemingen. The Netherlands.

Ganbari, R. and Heidarnejad, M. 2020. Experimental and numerical analysis of discharge hydraulic in triangular and rectangular piano key wiers. Water scince Journal. Doi./10.1080/11104929.2020.1724649.

Ghare, A.D., Mhaisalkar, V.A. and Porey, P.D. 2008. An approach to optimal design of trapezoidal Labyrinth weirs. World applied sciences journal 3:934-938.

Hai, N., Thanh, H., Thang Tang, Duc, M. and Khanh, H. 2017. Research on Piano KeyWeirs capacity for free and submerged discharges.

Laugier, F. 2007. Design and construction of the first Piano Key Weir spillway at the Goulours dam. Hydropower & Dams, 14:94-101.

Le Doucen, O., Ribeiro, M.L., Boillat, J.L., Schleiss, A. J. and Laugier, F. 2009. Etude paramétrique de la capacité des PK-Weirs. Modèles physiques hydrauliques – outils indispensables du XXIe siècle. SHF. Lyon.

Lux, F.L. and Hinchcliff, D. 1985. Design and construction of labyrinth spillways. Proceedings. 15th International Congress. Large Dams. ICOLD, Paris, France. 4:249-274.

Machiels, O., Erpicum, S., Pirotton, M., Dewals, B. and Archambeau, P. 2012. Experimental analysis of PKW hydraulic performance and geometric parameters optimum, in proceedings of Piano Key Weir for in-stream storage and dam safety (PKWISD-2012). New Delhi. India. 97-114.

Ouamane, A. and Lempérière, F. 2006. Design of a new economic shape of weir. In proceedings of International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century. Barcelona. Spain. 463-470.

Ouamane, A., Debabeche, M., Lempérière, F. and Vigny, J.P. 2017. Twenty years of research in Biskra University for Labyrinths and Piano KeyWeirs and associated fuse plugs Labyrinth and Piano Key Weirs III – PKW 2017 – Erpicum et al. (Eds) © 2017 Taylor & Francis Group. London. ISBN 978-1-138-05010-5.

www.SID.ir

Archive of SID

Tullis, J.P., Amanian, N. and Waldron, D. 1995, "Design of Labyrinth Spillways", Journal of Hydraulic Engineering .vol 121. No3.

Ribeiro, L.M., Boillat, J.L., and Schleiss, A.J. 2011. Experimental parametric study for hydraulic design of PKWs, Labyrinth and piano key weirs-PKW. CRC press, London. 183-190.

Taylor, G. 1968. The performance of labyrinths weirs. Ph.D. thesis, Univ. of Nottingham. Nottingham. UK.

www.SID.ir

Archive of SID
Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 14, Oct.-Nov. 2020, p. 1404-1416

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۴، جلد ۱۴، مهر - آبان ۱۳۹۹، ص. ۱۴۱۶-۱۴۰۴

Comparison of the Effect of the Input to Output Key Width and Slope of Key on Discharge Coefficient in Two-Cycle and Three-Cycle Piano Key Weirs with a Triangular Nose

B. Kamaie Abbasi[1], S.R. Khodashenas[2*], M. Heidarnejad[3]
Recived: May.09, 2020 Accepted: Jun.12, 2020

Abstract

The Piano key weirs are new types of weirs which have a high discharge capacity and are more economical and highly efficient.in the current study, to determine the effects of geometrical parameters of ratio of input key on discharge coefficient,180 experiments have been done on two-cycle and three-cycle weirs under different hydraulic conditions. The results of the study indicated that by increasing hydraulic load, at first discharge coefficient increases and then it decreases. Discharge coefficient in the piano key weir also increases to 26% by increasing ratio of input key to output key from 0.8 to 1.25.the analysis of number of cycles revealed that the maximum rate of discharge coefficient for two-cycle weir was between 0.6 and 0.76 and for three-cycle weir was between 0.4 and 0.59.throuout the whole process, the performance of two-cycle weir was much better than three-cycle weir since the discharge coefficient of it was 29%.the reasons for this are the complexity of discharge conditions in three-cycle weir, more streamlines interference, local immersion , more energy loss and the increasing number of cycles in a specified width with the same effective length. The optimum condition of A-type piano key weir in terms of the simultaneous effect of weir slope and ratio of input width to its output using triangular nose has been examined. The analysis of findings showed that a piano key weir with a ratio of key width of 1.25 and a slope of 25.2% with a triangular nose is the best combination for the maximum rate of discharge coefficient.

Keywords: Piano key weir, Discharge coefficient, Width ratio of key, Hydraulic model

1- Ph.D. Student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

www.SID.ir