

تأثیر شیروانی بالادست بر انسداد و ظرفیت تخلیه سرریز کلید پیانویی*

محمد پشته‌شیرانی^(۱) مجید رحیم‌پور^(۲) محمد مهدی احمدی^(۳)

چکیده سرریز کلید پیانویی یک سازه کنترل جریان و حالت توسعه یافته سرریزهای غیرخطی است که ظرفیت تخلیه دبی بسیار بالایی دارد، به طوری که برای یک دبی ثابت، عمق آب روی این نوع سرریز کم است و همین عامل احتمال انسداد ناشی از تجمع اجسام شناور را افزایش می‌دهد. در پژوهش حاضر با استفاده از پنج هندسه مختلف از سرریز کلید پیانویی با نسبت طول شیروانی خروجی به ورودی با مقادیر $1/5, 1, 1/25, 0.05, Bo/Bi$ با هدف بررسی ظرفیت تخلیه سرریز کلید پیانویی و همچنین با استفاده از پنج نمونه چوب، انسداد ناشی از تجمع اجسام شناور و محتول‌ترین مکان، برای انسداد نمونه چوب‌ها در سرریزهای مذکور مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که افزایش طول تاج سرریز سبب افزایش ظرفیت تخلیه و کاهش استغراق در کلید خروجی سرریز می‌شود به طوری که مدل $PKW_{1.5}$ (با $Bo/Bi=1/5$) نسبت به مدل PKW_0 دارای ۲۶ درصد افزایش ظرفیت تخلیه می‌باشد. همچنین مدل $PKW_{1.25}$ در یک هد آب ثابت نسبت به سایر مدل‌های مورد مطالعه، حساسیت کمتری به انسداد دارد و احتمال گرفتگی ناشی از نمونه چوب‌های صاف در مدل مذکور نسبت به مدل‌های $1/5, 1, 0.05, Bo/Bi$ به ترتیب ۱۸/۷، ۲۹/۳، ۳۸/۹ و ۸/۷ درصد کمتر می‌باشد. همچنین در کلیه مدل‌ها بیشترین انسداد در مدخل کلید خروجی صورت می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی سرریز کلید پیانویی، ظرفیت تخلیه، شیروانی، نمونه چوب، احتمال گرفتگی.

The Effect of Upstream Overhang on the Debris Blocking and Discharge Capacity of Piano Key Weirs

M. Poshteh-Shirani M. Rahimpour M. M. Ahmadi

Abstract Piano Key Weir (PKW) is a flow control structure and it is a developed version of non-linear weirs that has a high discharge capacity, so that, for a specified discharge rate, the flow head above the weir is small, which may increase the likelihood of woody debris collection. In this study, the discharge capacity were investigated through 5 different geometry of the weir with the ratio exit to entrance length overhang with the values $B_o/B_i=0, 0.5, 1, 1.25$ and 1.5 and also the probability of woody debris collection using five models wood at the location of the critical zone for obstructing the debris in the said weir was studied. The results indicate that increasing the length of the spillway crest increased discharge capacity, so that $PKW_{1.5}$ than to PKW_0 has increase discharge capacity to 26 percent. Also at a constant discharge $PKW_{1.25}$ than other models in this study is less sensitive to occlusion. And likelihood of trunk woody debris collection at this model relative to the models with ratios of $B_o/B_i=0, 0.5, 1$ and 1.5 has 7/18, 2/39, 9/38 and 8/7 percent less respectively. Also in all models most obstruction was occurred in the entrance region of exit keys.

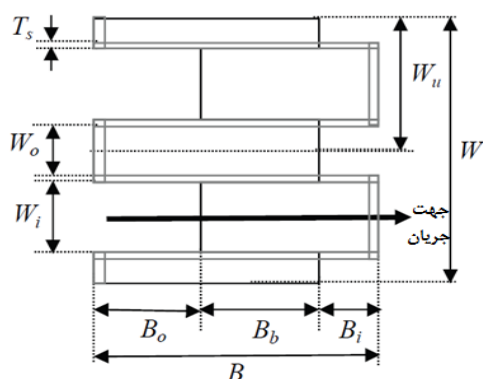
Key words Piano Key Weir, Discharge Capacity, Overhang, Sample of Wood, likelihood of Collection.

* تاریخ دریافت مقاله ۹۴/۸/۲۳ تاریخ پذیرش آن ۹۶/۷/۳ می‌باشد.

(۱) کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

(۲) نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

(۳) استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.



(ب)

شکل ۱ ساختمان سرریز کلید پیانویی نوع A، الف) نمای کلی سرریز، ب) پلان سرریز (پرانگل و همکاران، ۲۰۱۱)

مطابق شکل مذکور پارامترهای هندسی نشان داده شده شامل عرض سرریز W ، عرض کلید ورودی W_i ، عرض کلید خروجی W_o ، ارتفاع سرریز P ، طول سرریز B ، کل طول سرریز B_b ، طول شیروانی پایین دست سرریز (کلید ورودی) B_i ، طول شیروانی بالادست سرریز (کلید خروجی) B_o ، ضخامت صفحات ساخت سرریز T_s ، می باشند [7, 8]. از جمله پارامترهای هندسی مؤثر بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کلید پیانویی، طول سرریز می باشد [۹]. اندرسون و همکاران [4] طی تحقیق خود به این نتیجه رسیدند که اثر شیروانی ها بر ضریب تخلیه به مراتب بیشتر از اثر شیب های کلیدها است.

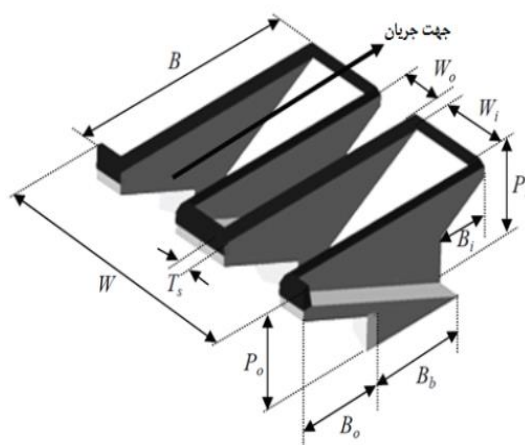
اومان و لمپیر [2]، بارکودا و همکاران [10]، طی مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که سرریز کلید پیانویی نوع B نسبت به نوع A دارای ۱۰ درصد بازدهی بیشتر است و در صورتی تحقق می پذیرد که مقادیر $N = \frac{L}{W}$ ؛ L کل طول تاج سرریز) و P در هر دو مدل یکسان باشد. اومان و لمپیر [11] با بررسی انواع مختلف سرریز کلید پیانویی با سه نسبت $\frac{B_i}{B_o} = 2, 1, 0$ به این نتیجه رسیدند، بازدهی هیدرولیکی سرریز با $\frac{B_i}{B_o} = 0$ (تیپ B) ۱۲ درصد و $\frac{B_i}{B_o} = 1$ (تیپ A) ۷ درصد بیشتر از سرریز با $\frac{B_i}{B_o} = 2$ است، البته در حالتی که نسبت $\frac{H_t}{P} \leq 4$ (کل هد آب روی تاج سرریز) باشد. ربريو و همکاران [12] با مقایسه سرریز کلید پیانویی با سرریز زیگزاگی به این نتیجه رسیدند که ساختار سرریز

مقدمه

ظرفیت تخلیه سرریزهای موجود را می توان با افزایش طول تاج سرریز، ضریب تخلیه، تراز آب روی سرریز یا ترکیبی از این موارد، افزایش داد. سرریزهای زیگزاگی (Labyrinth Weirs)، سازه های هیدرولیکی مناسبی برای افزایش طول تاج سرریز هستند [1]. سرریز کلید پیانویی حالت توسعه یافته سرریزهای غیرخطی (مانند سرریز کنگره ای) می باشد. این سرریز به عنوان سازه کنترل جریان در حالت جریان آزاد طراحی شده است [2]. بلانک و لمپیر [3] به منظور بهبود عملکرد سرریز زیگزاگی اولین طرح سرریز کلید پیانویی را معرفی کردند.

انواع سرریز کلید پیانویی را می توان براساس وجود و عدم وجود شیروانی های سرریز به چهار گروه تقسیم بندی کرد. سرریزی که دارای هر دو شیروانی باشد، سرریز کلید پیانویی نوع A و اگر سرریز فاقد شیروانی پایین دست، بالادست و هر دو باشد، به ترتیب نوع B، C و D می باشد [4, 5]. تاکنون دستورالعمل استاندارد برای طراحی سرریز کلید پیانویی ارائه نگردیده است. پارامترهای هندسی متعددی در طراحی سرریز کلید پیانویی و عملکرد (رابطه دبی-هد) آن مؤثر می باشند، اما باین وجود میزان اطلاعات انتشار یافته از این سرریز محدود می باشد [6].

در شکل (۱) ساختمان سرریز کلید پیانویی نوع A نشان داده شده است.



(الف)

را جذب می‌کند و اغلب اجسام شناور هنگامی که عمق آب روی سرریز بیشتر از یک متر باشد از روی آن شسته می‌شوند. طراحی و ساخت کلیدهای ورودی و خروجی سرریز کلید پیاپویی با عرض کم باعث افزایش پتانسیل انسداد و انباشتگی خرده‌ها می‌شود. بالا بودن ضریب تخلیه سرریز کلید پیاپویی نسبت به سرریزهای خطی، بر روی پدیده انسداد تأثیر می‌گذارد، بدین صورت که در یک دبی ثابت عمق آب بر روی سرریز کلید پیاپویی به مراتب کمتر از سرریزهای خطی است و همین امر موجب افزایش انسداد می‌گردد [16]. فیشر و همکاران [13] با بررسی پدیده انسداد در سرریز کلید پیاپویی با سه هندسه مختلف و هشت نمونه‌چوب، مشاهده کردند که در پدیده انسداد قطر نمونه‌چوب‌ها نسبت به طول نمونه‌ها تأثیر بیشتری دارد، احتمال گرفتگی نمونه‌ها در حالتی که نسبت $\frac{D}{H} \geq 1$ (D قطر نمونه‌چوب) باشد برابر یک است و همچنین برای حالتی که این نسبت کوچک‌تر از 0.3 باشد تمامی نمونه‌ها از روی سرریز عبور می‌کنند، نمونه‌چوب‌های شاخه‌دار (Rootstock) نسبت به نمونه‌های صاف نسبت به گرفتگی حساس‌تر بوده‌اند و احتمال انسداد این نمونه‌ها در حالتی که $\frac{D}{H} \geq 0.5$ باشد معادل یک و همچنین برای مقادیر $0.1 \leq \frac{D}{H}$ تمامی خرده‌ها از روی سرریز عبور می‌کنند.

منصوری و احدیان [17] با بررسی آزمایشگاهی تأثیر دیواره سپری بر انسداد سرریز کلید پیاپویی با استفاده از دو نمونه‌چوب صاف و شاخه‌دار به این نتیجه رسیدند که احتمال انسداد کامل نمونه‌چوب‌های صاف و شاخه‌دار به ترتیب در نسبت $\frac{D}{H} \geq 1$ و $0.5 \leq \frac{D}{H}$ رخ می‌دهد. همچنین اگر مقدار نسبت مذکور کمتر از 0.3 و 0.1 باشد، به ترتیب احتمال انسداد نمونه‌چوب‌های صاف و شاخه‌دار صفر می‌باشد.

باتوجه به آنچه در بخش مقدمه ذکر شد، در این تحقیق پدیده انسداد ناشی از اجسام شناور با استفاده از پنج هندسه مختلف از سرریز کلید پیاپویی و بهره‌گیری از پنج نمونه‌چوب با قطر و طول متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید پیاپویی تأثیر جزئی بر ساختار سد، دریچه‌ها و دیگر قطعات سد می‌گذارد و همچنین در یک هد ثابت، احتمال گرفتگی ناشی از اجسام شناور در سرریز کلید پیاپویی کمتر از سرریز زیگزاگی می‌باشد [12].

تاکنون مطالعات اندکی بر روی پدیده انسداد تحت تأثیر اجسام شناور در سرریزهای کلید پیاپویی صورت گرفته است. اجسام شناور می‌توانند شامل شاخه و برگ درختان باشند. جاری شدن سیل در مناطق نسبتاً خشک می‌تواند شاخه‌های خشکیده را با خود حمل کند و در حالت بحرانی‌تر سبب رانش زمین یا فرسایش سواحل رودخانه (Bank) و ورود درختان به رودخانه شود. انسداد ناشی از خرده‌چوب‌های شناور در سازه‌های کنترل جریان از قبیل سرریزها، باعث کاهش سطح عبور جریان و به تبع آن کاهش ضریب تخلیه سرریز و ایمنی آن می‌شود [13].

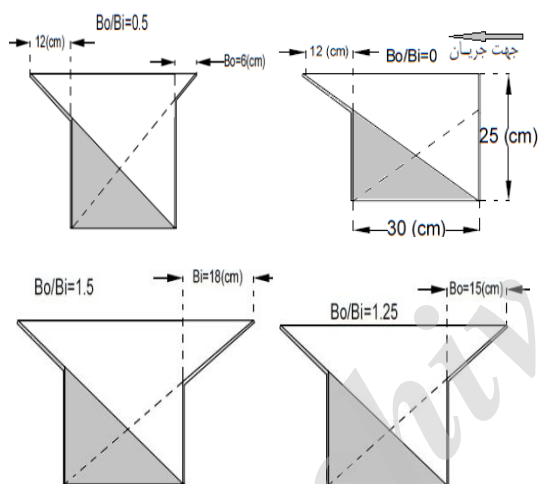
اومان و لمپیریر [11] با مطالعه احتمال انسداد در سرریز کلید پیاپویی دریافتند که هیچ‌یک از خرده‌های (Debris) شناور در زیر شیروانی، در طول فرایند پر شدن مخزن بالادست سرریز گیر نمی‌کنند و همچنین در زمان سرریز شدن آب از روی سرریز کلید پیاپویی، خرده‌ها باعث انسداد کلید ورودی در دبی‌های کم می‌شوند و همین امر موجب می‌گردد در حالتی که $\frac{H_t}{P} > 0.5$ و P به ترتیب کل هد بالادست و ارتفاع سرریز) ضریب تخلیه 10 درصد کاهش یابد [11].

هنگامی که دبی عبوری سرریز افزایش می‌یابد خرده‌ها به سمت پایین دست سرریز حرکت می‌کنند و از روی سرریز عبور می‌کنند. خرده‌چوب‌ها، اغلب با پسماندهای شهری موجود در رودخانه ترکیب می‌شوند که این امر می‌تواند سبب آسیب و مشکلات جدی در سازه‌های هیدرولیکی از قبیل سرریزها، بدنه پل‌ها و یا پایه‌های پل شود [14].

لایگیر [15] با بررسی مدل آزمایشگاهی سرریز کلید پیاپویی سد گولورس (Goulours) فرانسه مشاهده کرد که افزایش عمق آب بر روی سرریز نهایتاً اجسام شناور انسداد یافته بر روی سرریز را برطرف می‌کند؛ به این صورت که دریچه اصلی سرریز قبل از سرریز مذکور خرده‌چوب‌ها

مشخصات مدل

کلیه آزمایش‌های این پژوهش در کانال آزمایشگاه مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان به طول ۸ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام گردیده است. دیوارهای کانال از جنس شیشه و کف آن فولاد ضد زنگ است، همچنین شیب کف کانال صفر می‌باشد. مدل‌های سرریز کلید پیانویی مورد استفاده در این تحقیق از جنس شیشه با ضخامت ۴ میلی‌متر هستند و دارای نسبت طول شیروانی خروجی به ورودی، $\frac{B_o}{B_i} = 0, 0.5, 1, 1/25$ و $1/5$ می‌باشند. کلیه مدل‌ها در یک متری انتهایی کانال نصب شده‌اند و در شکل (۲) و جدول (۱) مشخصات هندسی سرریزهای مورد مطالعه ذکر شده است.



شکل ۲ نمایشی از سرریز کلید پیانویی با نسبت‌های $B_i/B_o = 0, 0.5, 1.25, 1.5$

جدول ۱ پارامترهای هندسی متغیر مدل‌های مورد مطالعه

B_i/B_o	۰	۰/۵	۱	۱/۲۵	۱/۵
L/W	۴/۲۲	۴/۶۹	۵/۱۶	۵/۳۹	۵/۶۲
نماد مدل	PKW ₀	PKW _{0.5}	PKW	PKW _{1.25}	PKW _{1.5}

از آنجایی که در این آزمایش‌ها نسبت $\frac{H_t}{P} < 0.6$ می‌باشد، نسبت $\frac{W_i}{W_o}$ برابر ۱/۵ در نظر گرفته شده است و به دلیل آن که نسبت به سایر مقادیر دارای بیشترین ضریب تخلیه می‌باشد [6]، لذا میزان عرض کلید ورودی و خروجی

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

باتوجه به آنچه در بخش مقدمه اشاره شد، یکی از چالش‌های پیش‌رو در طراحی سرریز کلید پیانویی، تعداد پارامترهای هندسی مؤثر بر ظرفیت تخلیه این سرریز می‌باشد. تابع کلی پارامترهای هندسی مؤثر بر ظرفیت تخلیه سرریز کلید پیانویی را می‌توان به صورت معادله (۱) برشمرد:

$$T_s, D, L_d, H, Q, \rho, \mu, \sigma, g, \pi) = 0 \quad (1)$$

در رابطه مزبور، ارتفاع سرریز P ، عرض سرریز W ، عرض کلید ورودی W_i ، عرض کلید خروجی W_o ، طول سرریز B ، کل فونداسیون سرریز B_o ، طول شیروانی پایین‌دست سرریز (کلید ورودی) B_i ، طول شیروانی بالادست سرریز (کلید خروجی) B_o ، ضخامت صفحات ساخت سرریز T_s ، عمق آب بالادست سرریز H ، دبی جریان Q ، قطر نمونه‌چوب‌ها D ، طول نمونه‌چوب‌ها L_d ، لزجت دینامیکی μ ، جرم واحد حجم سیال ρ ، کشش سطحی σ ، شتاب ثقل g ، احتمال انسداد سرریز π می‌باشد. با استفاده از روش آنالیز ابعادی، پارامترهای بدون بعد این تحقیق به صورت رابطه (۲) می‌شود:

$$\pi = f\left(\frac{W_i}{W_o}, \frac{W}{H}, \frac{B_i}{B_o}, \frac{L_d}{H}, \frac{L_d}{D}, \frac{L_d}{H}, Re, We\right) \quad (2)$$

در رابطه فوق عدد رینولدز Re و عدد وبر We می‌باشد. در این تحقیق عدد رینولدز جریان در طول فرایند آزمایش مقداری بیش از ۲۰۰۰ دارد و جریان در محدوده متلاطم می‌باشد که در این حالت از عدد رینولدز صرف‌نظر می‌شود، همچنین ارتفاع آب روی سرریز بیش از ۳ سانتی‌متر بوده است، لذا اثر کشش سطحی و به تبع آن عدد وبر نادیده گرفته شده است. مقادیر عرض کلید ورودی، عرض کلید خروجی و ضخامت سرریز در مدل‌های مورد مطالعه این تحقیق ثابت می‌باشد در نتیجه می‌توان از پارامترهای $\frac{W_i}{W_o}$ و $\frac{T_s}{W}$ صرف‌نظر کرد. بنابراین رابطه (۳) به عنوان رابطه نهایی معرفی می‌شود.

$$\pi = f\left(\frac{P}{H}, \frac{B_i}{B_o}, \frac{D}{H}, \frac{L_d}{D}, \frac{L_d}{H}\right) \quad (3)$$

حداکثر ۳۳ عدد از آن دسته را در فاصله حداقل ۲ متر از بالادست سرریز به طور تصادفی در قسمت‌های مختلف کانال رها می‌کنند. در هر مرحله از آزمایش بعد از انسداد نمونه‌ها روی سرریز مدت زمانی صبر می‌شود تا اطمینان حاصل گردد که نمونه‌های انسداد یافته در روی سرریز دیگر حرکت نمی‌کنند و در مرحله بعد نمونه‌های انسداد یافته بر روی سرریز برطرف می‌شوند و مورد شمارش قرار می‌گیرند. در این پژوهش مجموعاً ۲۵۵ آزمایش انجام شده است. در شکل (۴) پدیده انسداد در سه مدل مورد مطالعه نشان داده شده است.



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴ نمایی از انسداد در سه مدل، الف) $Bi/Bo=1/25$ ، ب) $Bi/Bo=0/5$ و ج) $Bi/Bo=0$ و نمونه‌چوب‌های شاخه‌دار

مدل‌های مورد مطالعه به ترتیب ۱۵ و ۱۰ سانتی‌متر می‌باشند.

نمونه‌های چوب

در این آزمایش از دو مدل چوب که یک نمونه آن شامل چوب‌های صاف و مدل دوم چوب‌های شاخه‌دار می‌باشند، برای بررسی پدیده انسداد استفاده شده است (شکل ۳). هدف از انتخاب چنین نمونه‌هایی نزدیکی شکل مدل‌های چوب مورد استفاده به حالت طبیعی بوده است. نمونه چوب‌های صاف از نظر قطر و اندازه خود به چهار دسته تقسیم می‌شوند که در جداول (۲ و ۳) سایر مشخصات این نمونه‌ها آورده شده است.



شکل ۳ نمایی از نمونه‌چوب‌های مورد استفاده

جدول ۲ مشخصات نمونه‌چوب‌های صاف

دسته‌بندی نمونه‌ها	۱	۲	۳	۴
قطر نمونه، D (میلی‌متر)	۳	۵	۷	۱۰
طول نمونه، T (سانتی‌متر)	۸	۱۰	۱۲	۱۵

جدول ۳ مشخصات نمونه‌چوب‌های شاخه‌دار

مشخصات	قطر نمونه (میلی‌متر)	طول نمونه (سانتی‌متر)	تعداد شاخه
حداقل	۳	۹	۲
متوسط	۶/۷	۱۷/۴۳	۴
حداکثر	۱۴	۳۲	۸

روند کلی آزمایش‌ها در این تحقیق بدین صورت بوده است که پس از ایجاد تراز آب مدنظر روی سرریز، یک دسته چوب را انتخاب کرده و تعدادی نمونه، حداقل ۲۰ و

نتایج و بحث

نتایج حاصل در این تحقیق به سه بخش الف) ظرفیت تخلیه، ب) احتمال گرفتگی و ج) محتمل‌ترین مکان برای انسداد در سرریزهای مورد مطالعه تقسیم می‌شوند. در ادامه هر بخش به‌طور مجزا مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ظرفیت تخلیه

با افزایش عمق آب روی سرریز مقدار دبی عبوری افزایش می‌یابد و این روند افزایش در سرریز PKW_{1.5} بیشتر از سایر مدل‌ها می‌باشد، به طوری که در یک عمق آب ثابت روی سرریز، مدل مذکور دارای بیشترین دبی عبوری می‌باشد. میزان دبی عبوری از مدل PKW نسبت به مدل‌های PKW₀ و PKW_{0.5} به‌طور متوسط ۲۳/۵ و ۱۱/۵ درصد بیشتر می‌باشد و همچنین مدل‌های PKW_{1.5} و PKW_{1.25} نسبت به مدل PKW به ترتیب ۲۶ و ۱۳ درصد افزایش دبی عبوری را نشان می‌دهند.

مطابق شکل (۵) در یک هد ثابت میزان دبی در واحد طول کلیه مدل‌ها تقریباً یکسان می‌باشد که به این نکته اشاره دارد که طول سرریز یک عامل مهم و تأثیرگذار در افزایش دبی عبوری می‌باشد و همین افزایش طول کلی سرریز سبب عملکرد بهتر مدل PKW_{1.5} نسبت به سایر مدل‌ها شده است. این موضوع با نتایج اندرسون و تولیس [18] تطابق دارد.

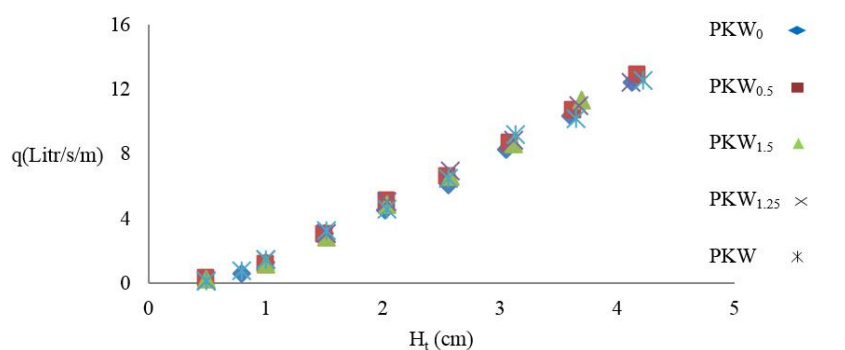
در این قسمت از تحقیق به منظور تجزیه و تحلیل ظرفیت تخلیه سرریزهای کلید پیانویی و به دلیل پیچیدگی الگوی جریان بر روی این سرریزها، بعد از انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری اطلاعات، از معادله (۴) که معادله عمومی سرریزها می‌باشد، استفاده شده است [19]. باتوجه به مشخص بودن بار آبی، دبی و مقطع کانال، میزان سرعت متوسط جریان و بار سرعت برآورد شد و در نهایت ضریب دبی مربوط به هر آزمایش محاسبه گردید.

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} (H_t)^{3/2} L \quad (4)$$

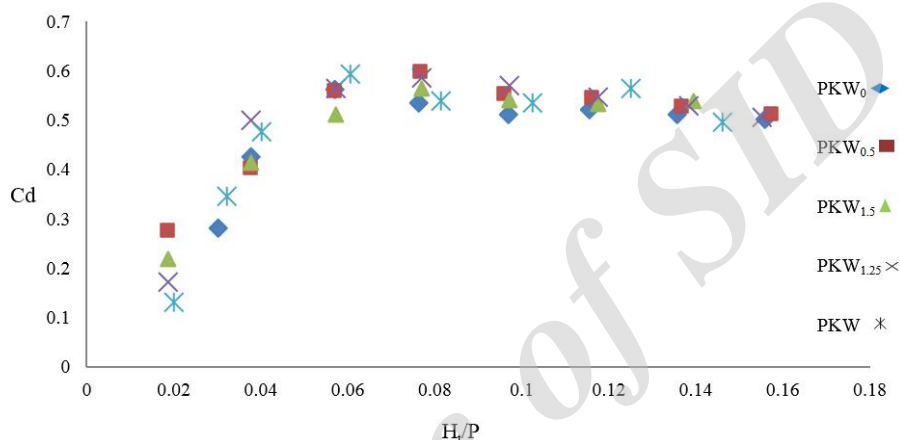
در این معادله L کل طول سرریز، H_t کل هد بالادست

و C_d ضریب تخلیه سرریز می‌باشد [3]. در شکل (۶) مقادیر ضریب تخلیه سرریزها در برابر پارامتر بی بعد $\frac{H_t}{P}$ ترسیم شده است، همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌گردد در ابتدا با افزایش نسبت $\frac{H_t}{P}$ مقادیر ضریب تخلیه افزایش و در ادامه با افزایش این نسبت، بسته به نوع مدل، مقدار این ضریب در یک نقطه کاهش می‌یابد که بیان‌کننده این موضوع است که با افزایش عمق آب بر روی سرریز (یا کاهش ارتفاع سرریز) مقدار ضریب تخلیه به علت استغراق در کلید خروجی و کاهش توان آن برای خروج آب کاهش می‌یابد که مطابق نتایج کبیری سامانی و جواهری [7]، اندرسون و تولیس [20] می‌باشد. روند تغییرات ضریب تخلیه دو مدل PKW₀ و PKW_{0.5} نسبت به پارامتر H_t/P دارای رفتاری دوگانه بوده است، برای حالتی که نسبت $\frac{H_t}{P} < 0.12$ باشد مقدار ضرایب تخلیه دو مدل مذکور کمتر از مدل PKW می‌باشد و زمانی که نسبت $\frac{H_t}{P} \geq 0.12$ حالت عکس رخ می‌دهد. مدل‌های PKW_{1.5} و PKW_{1.25} به ترتیب دارای ۱۵ و ۱۰/۵ درصد ضریب تخلیه بیشتر نسبت به مدل PKW می‌باشند. در یک نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که میزان دبی عبوری و همچنین ضریب تخلیه مدل PKW_{1.5} بهتر از سایر مدل‌ها می‌باشد. وجود شیروانی بالادست سرریز کلید پیانویی و افزایش طول آن، سبب افزایش سطح عبور جریان می‌شود و این امر منتج به کاهش در فشردگی جریان، سرعت جریان و انرژی جریان ورودی می‌گردد.

در این تحقیق همچنین پروفیل سطح آب در طی فرایند آزمایش اندازه‌گیری شد و مشاهده گردید پروفیل سطح آب در روی مدل PKW₀ در ابتدای سرریز دارای یک انحنا می‌باشد که این انحنا و فرورفتگی در مدل PKW_{0.5} کمتر می‌شود و در سایر مدل‌ها که دارای نسبت $\frac{B_0}{B_i} \geq 1$ می‌باشند، این فرورفتگی از بین می‌رود. می‌توان از این رفتار چنین برآورد کرد که وجود شیروانی در کلید خروجی با اندازه‌ای برابر و بزرگ‌تر از کلید ورودی علاوه بر ضریب تخلیه، سبب ایجاد پروفیلی یکنواخت بر روی سرریز می‌شود.



شکل ۵ نمودار دبی در واحد عرض و هد مدل PKW و مدل‌ها با نسبت Bo/Bi متغیر



شکل ۶ مقادیر Cd سرریز با نسبت طول شیروانی مختلف در برابر پارامتر بی بعد Ht/P

مقدار ۱ می‌باشد. برای حالات حد وسط $\frac{D}{H}$ و $\frac{L}{H}$ روابط (۵) و (۶) برای محاسبه پیشنهاد می‌گردد.

$$P = -0.919 \left(\frac{D}{H}\right)^2 + 2.26 \left(\frac{D}{H}\right) - 0.409 \quad (5)$$

$$R^2 = 0.822 \quad 0.2 \leq \frac{D}{H} < 1.3$$

$$P = -0.004 \left(\frac{L}{H}\right)^2 + 0.169 \left(\frac{L}{H}\right) - 0.704 \quad (6)$$

$$R^2 = 0.904 \quad 4.7 \leq \frac{D}{H} < 16.7$$

نتایج گویای این امر می‌باشند که احتمال گرفتگی با قطر و طول نمونه‌ها رابطه مستقیم دارد به طوری که با افزایش قطر یا طول نمونه‌ها این احتمال افزایش و بالعکس با افزایش عمق آب روی سرریز، کاهش می‌یابد. همچنین مدل $PKW_{1.25}$ نسبت به انسداد حساسیت کمتری دارد و احتمال گرفتگی در این مدل نسبت به مدل‌های PKW_0 ، $PKW_{0.5}$ ،

احتمال گرفتگی

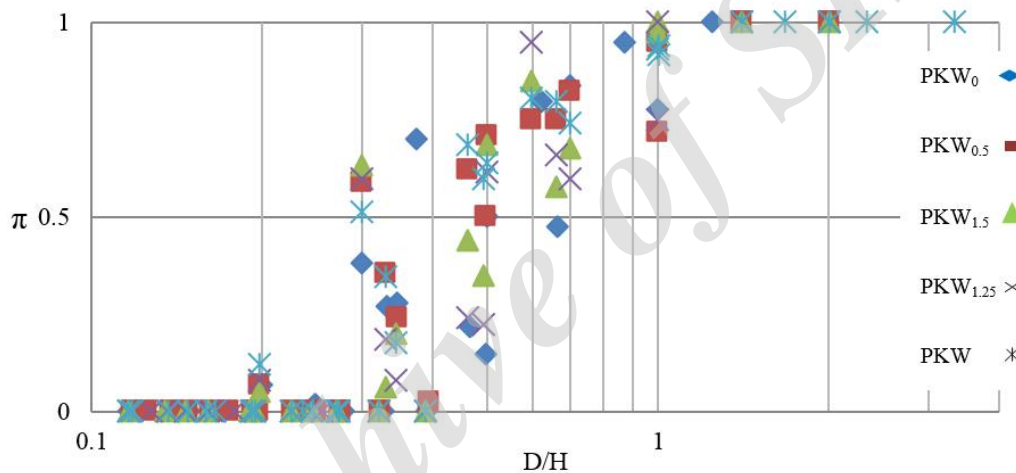
به منظور بررسی پدیده انسداد در سرریزهای مذکور از پارامتر بی بعد احتمال گرفتگی (π) استفاده شده است، که برابر با تعداد نمونه‌های انسداد یافته بر روی سرریز به کل نمونه‌های رهاسده می‌باشد. احتمال گرفتگی نمونه‌چوب‌ها در برابر دو پارامتر بی بعد $\frac{Ld}{H}$ و $\frac{D}{H}$ ، قطر و طول متوسط نمونه‌چوب، به ترتیب در اشکال (۷) و (۸) نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهند در تمامی مدل‌ها، زمانی که نسبت $\frac{D}{H}$ برابر ۱ شود نمونه‌ها در آستانه انسداد از روی سرریز قرار می‌گیرند و در این نسبت درصد عبوری نمونه‌ها قابل توجه نمی‌باشد و چنان‌که احتمال گرفتگی به طور متوسط ۰/۹ می‌باشد. احتمال گرفتگی صفر ($P=0$) در نسبت $\frac{D}{H} < 0.2$ و $\frac{L}{H} < 4.7$ حاصل می‌شود و همچنین در نسبت $\frac{D}{H} > 1.2$ و $\frac{Ld}{H} > 16.6$ احتمال گرفتگی دارای

(۷) $P = 3.455 \left(\frac{D}{H}\right) - 0.547$ $R^2 = 0.912$ $0.16 \leq \frac{D}{H} \leq 0.44$ P_{KW} و $P_{KW_{1.5}}$ به ترتیب ۱،۸۷، ۳،۹/۲، ۷/۸ و ۳،۸/۹ درصد کمتر می باشد.

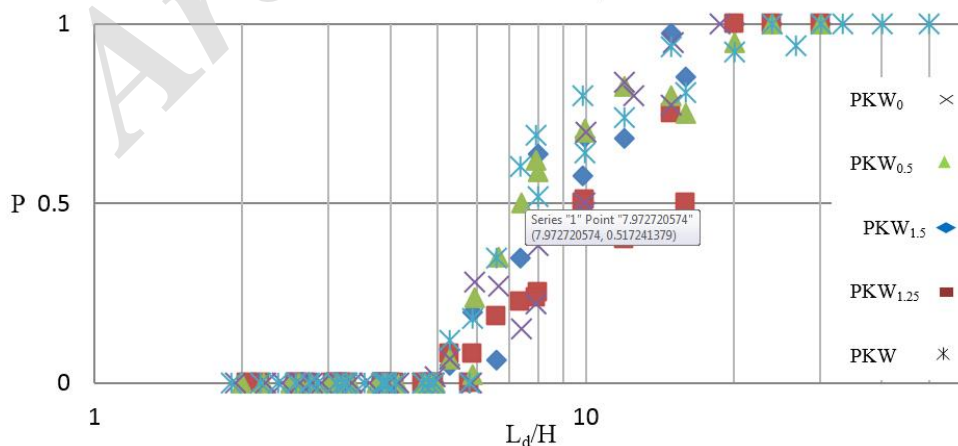
(۸) $P = 0.128 \left(\frac{L_d}{H}\right) - 0.507$ $R^2 = 0.908$ $4 \leq \frac{L_d}{H} \leq 11.7$

نتایج نشان می دهند که مدل $P_{KW_{1.25}}$ نسبت به انسداد ناشی از نمونه چوب های شاخه دار حساسیت کمتری دارد به طوری که احتمال گرفتگی در این مدل نسبت به مدل های P_{KW_0} ، $P_{KW_{0.5}}$ ، $P_{KW_{1.5}}$ و P_{KW} به ترتیب ۱،۶/۸، ۲۱/۱ و ۳۸/۵ درصد کمتر می باشد.

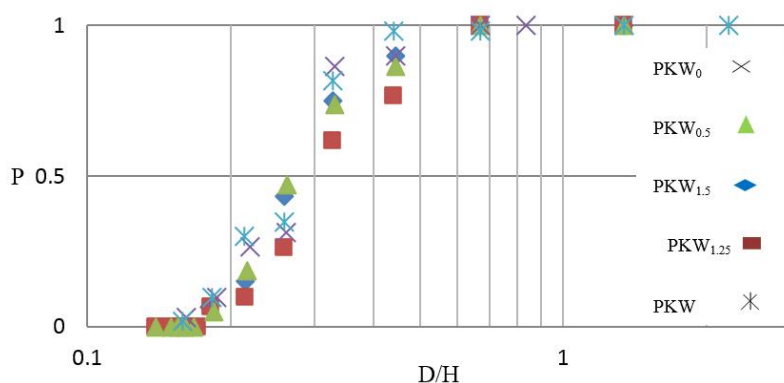
در اشکال (۹ و ۱۰) احتمال گرفتگی نمونه های شاخه دار در برابر پارامتر بی بعد D/H و L_d/H ترسیم شده است. مطابق اشکال مذکور احتمال گرفتگی صفر در نسبت $0.1 < \frac{D}{H} < 4$ و $\frac{L_d}{H} < 4$ و احتمال گرفتگی یک در نسبت $0.44 < \frac{L_d}{H} < 11.7$ حاصل می شود. نتایج حاضر با نتایج منصور و احدیان (۱۳۹۴) مطابقت دارند. برای حالات حد واسط $\frac{L}{H}$ و $\frac{D}{H}$ احتمال انسداد نمونه های شاخه دار را به ترتیب می توان از روابط پیشنهادی (۷ و ۸) محاسبه کرد.



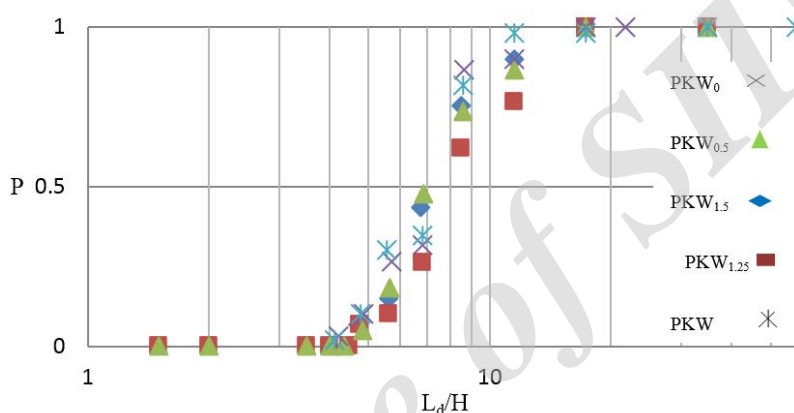
شکل ۷ احتمال گرفتگی نمونه های صاف در برابر نسبت D/H



شکل ۸ احتمال گرفتگی نمونه های صاف در برابر نسبت Ld/H



شکل ۹ احتمال گرفتگی نمونه‌های شاخه‌دار در برابر نسبت D/H



شکل ۱۰ احتمال گرفتگی نمونه‌های شاخه‌دار در برابر نسبت Ld/H

ورودی می‌شوند و باعث انسداد دیواره‌های جانبی می‌گردند. $\frac{B_0}{B_1} < 1$ انسداد دیواره جانبی سرریز در تراز آب کمتری نسبت به حالت قبل ($0.7 \leq \frac{D}{H} \leq 1$) ایجاد می‌شود و در مدل PKW₀ به دلیل نداشتن شیروانی بالادست دیواره‌های سرریز سهم قابل توجهی از انسداد را به خود می‌دهند. عملکرد نمونه‌های شاخه‌دار بدین صورت بوده است که این نمونه‌ها در هدهای بالا ($0.18 < \frac{D}{H} < 0.26$) وارد کلید ورودی می‌شوند و پس از آن به سمت دیواره‌های جانبی تغییر مسیر می‌دهند و منجر به انسداد در دیواره‌های جانبی و به‌طور خیلی کم کلید ورودی می‌شوند؛ و هنگامی که $\frac{D}{H} > 0.6$ است، انسداد نمونه‌ها فقط به مدخل کلید ورودی و خروجی منتهی می‌شود و انسداد به بالادست دیواره‌های جانبی سرریز بسته به نسبت $\frac{B_0}{B_1}$ متفاوت می‌باشد بر این اساس برای نسبت‌های $\frac{B_0}{B_1} \geq 1$ هنگامی که تراز آب کم می‌باشد ($0.5 \leq \frac{D}{H} \leq 0.7$) نمونه‌ها وارد کلید

محتمل‌ترین مکان برای انسداد

در طی فرایند آزمایش تعداد نمونه‌های انسداد یافته در محل‌های مختلف سرریز ثبت گردیده و بر همین اساس محتمل‌ترین محل برای انسداد در سرریز معرفی شده است. نحوه عملکرد دو مدل چوب شاخه‌دار و صاف با یکدیگر متفاوت بوده است. نمونه‌چوب‌های صاف در دامنه وسیعی ($0.2 \leq \frac{D}{H} < 1$) از نسبت D/H، باعث انسداد کلید خروجی می‌شوند و همچنین در هدهای خیلی کم ($\frac{D}{H} > 1$) انسداد نمونه‌ها فقط به مدخل کلید ورودی و خروجی منتهی می‌شود و انسداد به بالادست سرریز ادامه می‌یابد. در آزمایش مربوط به نمونه‌های صاف همچنین انسداد دیواره‌های جانبی سرریز بسته به نسبت $\frac{B_0}{B_1}$ متفاوت می‌باشد بر این اساس برای نسبت‌های $\frac{B_0}{B_1} \geq 1$ هنگامی که تراز آب کم می‌باشد ($0.5 \leq \frac{D}{H} \leq 0.7$) نمونه‌ها وارد کلید

سرریز وجود دارد.

است، به طوری که افزایش در قطر نسبت به طول نمونه‌ها سبب انسداد بیشتر می‌شود.

در یک هد ثابت درصد عبوری نمونه‌های شاخه‌دار نسبت به نمونه‌های صاف از روی سرریز کمتر است و این امر به دلیل وجود خم و شاخه‌ها در نمونه‌های مذکور می‌باشد. در هر دو آزمایش مربوط به نمونه‌های صاف و شاخه‌دار، مدل PKW_{1.25} نسبت به انسداد حساسیت کمتری دارد و نمونه‌ها در تراز آب کمتری نسبت به سایر مدل‌ها از روی آن عبور می‌کنند. همچنین محتمل‌ترین محل برای انسداد براساس مقدار عمق آب بر روی سرریز، قطر نمونه‌ها و نوع آنها، متفاوت است ولی می‌توان گفت که قسمت مدخل کلید خروجی بحرانی‌ترین نقطه از لحاظ انسداد است و بخش اعظم نمونه‌ها در این قسمت انسداد می‌یابند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از پنج هندسه مختلف از سرریز کلید پیانویی و همچنین پنج نمونه‌چوب به ترتیب، ظرفیت تخلیه و پدیده انسداد ناشی از اجسام شناور در این نوع سرریز مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت می‌توان براساس یافته‌های این تحقیق، نتایج زیر را به طور خلاصه بیان نمود:

وجود شیروانی بالادست در سازه سرریز علاوه بر جلوگیری از افت جریان ورودی به سرریز سبب افزایش ظرفیت تخلیه سرریز کلید پیانویی نیز می‌شود.

احتمال گرفتگی علاوه بر نوع چوب (صاف و شاخه‌دار) با قطر و طول نمونه‌چوب رابطه مستقیم دارد. با این حال، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهند که قطر نمونه‌چوب‌ها نسبت به طول آنها یک پارامتر مؤثر بر انسداد

مراجع

1. Khode, B.V., and Tembhurkar. A.R., "Evaluation and Analysis of Crest Coefficient for Labyrinth Weir", *World Applied Sciences Journal*, Vol. 11, PP. 835-839, (2010).
2. Lempérière, F., Ouamane, A., "The Piano Keys Weir: A New Cost Effective Solution for Spillways, Hydropower and Dams", *Official Journal of the International Hydropower Association*, Vol. 10 PP.144-149, (2003).
3. Blanc, P., Lempérière, F., "Labyrinth Spillways Have a Promising Future", *Journal of Hydropower Dams*, Vol.8, PP. 129-131,(2001).
4. Riberio, M.L., Pfister, M., Schleiss, A.J., and Boillat, J.L., "Hydraulic Design of A-type Piano Key Weirs", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 50, PP. 400-408, (2012).
5. Lempérière, F., Vigny, J.P., Ouamane, A., "General Comments on Labyrinth and Piano Key Weirs: The past and present", *proceedings of the International Conference Labyrinth and Piano Key Weirs*, Liège B, 17-24 CRC Press, Boca Raton, FL,(2011).
6. Anderson, R.M., and Tullis, B.P., "Piano Key Weir Hydraulics and Labyrinth Weir Comparison", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 139, PP. 246-253,(2013).
7. Kabiri-Samani, A., and Javaheri, A., "Discharge Coefficients for Free and Submerged Flow over Piano Key weirs", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 50, PP. 114-120, (2012).

8. Pralong, J., Vermeulen, J., Blancher, B., and Laugier, F., "A Naming Convention for the Piano Key Weirs Geometrical Parameters", *proceedings of the International Conference Labyrinth and Piano Key Weirs*, Liège B, CRC Press, Boca Raton, FL, PP. 271–278, (2011).
9. Machiels, O., Erpicum, S., Archambeau, P., Dewals, B.J., Piroton, M., "Piano Key Weir Preliminary Design Method: Application to a New Dam Project", *proceedings of the International Conference Labyrinth and Piano Key Weirs*, Liège B, CRC Press, Boca Raton, FL, PP. 199–206, (2011).
10. Barcouda, M., Cazaillet, O., Cochet, P., Jones, B.A., Lacroix, S., "Cost-effective Increase in Storage and Safety of Most Dams Using Fuse Gates or P. K. Weirs", *proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 22st Century*, International Commission on Large Dams (ICOLD), Barcelona, Spain, PP. 463–470, (2006).
11. Ouamane, A., and Lempérière, F., "Design of a new economic shape of weir ", *proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century*, International Commission on Large Dams (ICOLD), Taylor and Francis. London, UK. 463–470, (2006).
12. Ribeiro, M.L., Pfister, M., Schleiss, A.J., "Overview of Piano Key weir prototypes and scientific model investigations", *Proceedings of the 2nd International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs*, p, 273-281, CRC Press, Boca Raton, (2013).
13. Pfister, M., Capobianco, D., Tullis, B., and Schleiss, A.J., "Debris-Blocking Sensitivity of Piano Key Weirs under Reservoir-Type Approach Flow", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 139, PP. 1134-1141, (2013).
14. Pagliara, S., and Carnacina, I., "Temporal Scour Evolution at Bridge Piers: Effect of Wood Debris Roughness and Porosity", *Journal of Hydraulic Research*, Vol.48, PP. 3–13, (2010).
15. Laugier, F., "Design and Construction of the First Piano Key Weir Spillway at Goulours Dam", *International Journal of Hydropower Dams*, Vol.13, PP. 94–100, (2007).
16. Ribeiro, M.L., Bieri, M., Boillat, J.L., Schleiss, A.J., Singhal, G., and Sharma, N., "Discharge Capacity of Piano Key Weirs", *Journal Hydraulic Engineering*, Vol.138, PP.199–203, (2012).
۱۷. منصورى، كوثر، و احدیان، جواد، «انسداد سرریزهای کلید پیلانویی در جریان های آواری با سه ستم آز مایش های از فردادی»، علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی - پژوهشی)، ج. ۳۹، ش. ۳، (پاییز ۹۵).
18. Anderson, R.M., and Tullis, B.P., "Comparison of Piano Key and Rectangular Labyrinth Weir Hydraulics", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 138, PP.358–361, (2012).
19. Tullis, J. P., Amanian, N., and Waldron, D., "Design of Labyrinth Spillways", *Journal of Hydraul Engineering*, Vol.121, PP. 247–255, (1995).
20. Anderson, R.M., Tullis, B., "Influence of Piano Key Weir geometry on discharge", *proceedings of the International Conference Labyrinth and Piano Key Weirs*, Liège B, CRC Press, Boca Raton, FL, PP.75-80, (2011).

21. Anderson, R.M., "Piano Key Weir Head Discharge Relationships", All Graduate Theses and Dissertations, Utah State University, (2011).

Archive of SID