

## بررسی عملکرد هیدرولیکی سرریز کلید پانویی با استفاده از مدل های آزمایشگاهی

سید محمد حسن سعیدی<sup>۱</sup>، مجید رحیم پور<sup>۲</sup>، محمد ذونعمت کرمانی<sup>۳</sup>

۱- کارشناس ارشد مهندسی آب گرایش سازه های آبی

۱- انجمن دانش پژوهان جوان

۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه باهنر کرمان

۳- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه باهنر کرمان

[engineer.s.m.h.s@gmail.com](mailto:engineer.s.m.h.s@gmail.com)

### خلاصه

سرریز کلید پانویی یک نوع اصلاح شده از سرریز ماریچ است که بهترین راه برای بررسی ویژگی های هیدرولیکی جریان، استفاده از امکانات آزمایشگاهی است. برای درک بهتر رفتار سرریز کلید پانویی نوع D، ۸ مدل فیزیکی ساخته شد که با تغییر نسبت هندسی عرض کلید های ورودی به عرض کلیدهای خروجی در قالب ۵۴ آزمایش و برای هر آزمایش ۳ تکرار مدل ها مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج نشان می دهد نسبت هندسی ۱/۶۷ از دیگر نسبت ها در تخلیه دبی سرریز تا ۲۹/۴ درصد عملکرد بهتری دارد. در سرریز نوع D بر خلاف نوع A جریان موجکی نیز ایجاد می شود. و چه دبی افزایش یابد عمق حداقل پروفیل جریان نسبت هد جریان کاهش پیدا می کند.

**کلمات کلیدی:** سرریز کلید پانویی، نسبت عرض کلیدهای ورودی به خروجی، ضریب دبی، جریان موجکی

### ۱. مقدمه

سرریز ها سازه های هیدرولیکی هستند که برای اندازه گیری دبی، انحراف یا کنترل جریان در کانال ها، رودخانه ها و مخازن سدها و نیز عبور سیلاب های اضافه بر ظرفیت سد استفاده می شوند. هدف اصلی در کاربرد سرریز های ماریچ افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز از طریق افزایش طول تاج سرریز در یک محدوده ی معین عرضی می باشد سرریزهای کلید پانویی ساختار خاصی از سرریزهای ماریچ می باشند.

فرق اساسی در طراحی سرریز کلید پانویی نسبت به طراحی سرریز ماریچ مستطیلی در شیب یا رمپ در حلقه های ورودی و خروجی یا کف کلید ها است. ظرفیت هیدرولیکی سرریز کلید پانویی تابعی از ویژگی های هندسی آن است. نوع D این سرریز بدون دماغه و سگدست است ولی در نوع A در دوطرف دارای سگدست است. پارامترهای هندسی زیادی بر هیدرولیک جریان اثر می گذارند که سبب پیچیدگی رفتار سرریز کلید پانویی می شود از جمله این پارامترها می توان به P ارتفاع سرریز، W عرض سرریز،  $W_0$  و  $W_i$  عرض کلید ورودی و خروجی،  $S_0$  و  $S_i$  شیب کف کلیدهای ورودی و خروجی، B طول سرریز،  $T_s$  ضخامت دیواره سرریز، N تعداد حلقه ها، L طول تاج سرریز و n نسبت طول تاج سرریز به عرض آن اشاره کرد. نخستین نمونه اصلی و واقعی سرریز کلید پانویی بر روی سد گلوریس در فرانسه در سال ۲۰۰۶ کامل شد. نمونه واقعی بعدی در سال ۲۰۰۸ بر روی سد سنت مارک در فرانسه ایجاد شد [1]. رابطه کلی سرریزهای با مقطع مستطیلی بدین صورت است و ضریب دبی از پارامترهای متعددی متاثر است.

$$Q = \frac{2}{3} C_d L H^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

رایج بودن سرریز نوع A به خاطر این است که هندسه A بهتر با بتن پیش ساخته قابل اجراست. [2] اظهار داشتند که نوع B ۱۰ درصد عملکرد هیدرولیکی بیشتری نسبت به نوع A با P کاملاً برابر دارد. بر طبق نظر [3] به نسبت یک سرریز با  $B_i/B_o = 0$  به سرریز نوع B ( $B_i/B_o$ ) همان طول سگدست است) ۱۲٪ کارایی بیشتری دارد و در مقایسه با یک سرریز با نسبت  $B_i/B_o = 1$  (نوع A) ۷ درصد راندمان افزایش می یابد.

نسبت عرض کلیدهای ورودی به خروجی یکی دیگر از پارامترهای موثر در طراحی و بازده تخلیه گزارش شده است. [4] پیشنهاد داد که نسبت  $W_i/W_o$  برابر  $1/25$  به عنوان نسبت بهینه قرار گیرد. دو نمونه واقعی سرریز کلید پیانویی که بر روی سد های گلوریس و سنت مارک ساخته شده است به ترتیب دارای نسبت  $1/43$  و  $1/41$  بودند. تمام مطالعات مورد بررسی توافق دارند که  $W_i/W_o > 1$  نسبت به  $W_i/W_o < 1$  بازده تخلیه بیشتری دارد. [5] اظهار داشت که جریان موجکی<sup>۱</sup> پدیده‌ای است که تحت شرایط هیدرولیکی خاصی رخ می‌دهد. در این حالت سطح جریان روی سرریز به شکل موجک‌های سینوسی در آمده و تعداد این موجک‌ها ممکن است از یک تا بیش از ۱۰ عدد متغیر باشد. وقوع این پدیده باعث می‌شود که اندازه‌گیری جریان توسط این سازه‌ها با خطا صورت گیرد

این پدیده معمولاً در سرریز های لبه پهن رخ می‌دهد. در سرریزهای لبه پهن، لبه‌ی سرریز به اندازه کافی پهن بوده و در مقایسه با سایر ابعاد آن دارای اندازه قابل ملاحظه‌ای می باشد که این امر باعث توزیع هیدرواستاتیک فشار در طول تاج سرریز می‌شود و سرریز به گونه‌ای عمل خواهد کرد که در بالادست آن جریان زیر بحرانی و در روی آن جریان فوق بحرانی ایجاد شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

در تلاش برای درک بهتر از ویژگی های هیدرولیکی و هندسی سرریز کلید پیانویی و به منظور بررسی حساسیت ظرفیت تخلیه سرریز و تاثیر نسبت کلید های ورودی به خروجی ( $W_i/W_o$ ) مدل ساخته و آزمایش شد. سرریزهای ن به جز نسبت متفاوت در عرض کلیدهای ورودی و خروجی در دیگر پارامترها برابر بودند.

تاثیر نسبت عرض ورودی به خروجی در سرریز D و به ترتیب در نسبت های  $1/67$ ،  $1/4$ ،  $1/25$ ،  $1/1$ ،  $1/9$ ،  $1/8$ ،  $1/7$  و  $1/6$  بررسی شد و سرریزها بر اساس نوع و این نسبت نام گذاری شدند. جدول ۱ مقدار نسبت های ثابت و در جدول ۲ اندازه ی عرض کلید ها در نسبت های متفاوت نمایش می دهد. شکل ۱ شمای هندسی سرریزهای نوع A و D را نشان می دهد.

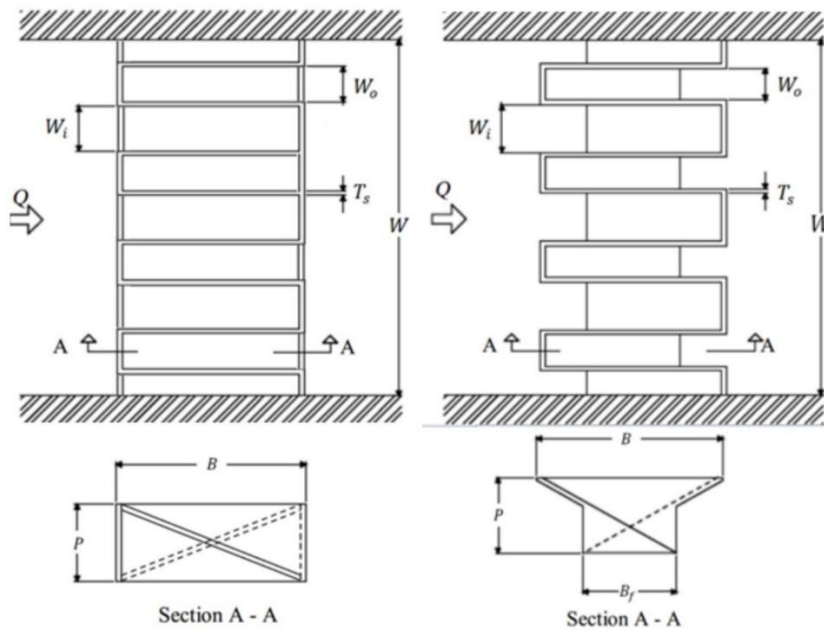
جدول ۱- اندازه مولفه های هندسی سرریز کلید پیانویی نوع D

P	W	B	N	L	$T_s$
۲۰ cm	۸۰ cm	۴۰ cm	۳	۴۰ cm	۱/۶cm

جدول ۲- اندازه ی عرض کلیدها در نسبت های متفاوت بر حسب سانتیمتر

نسبت $W_i/W_o$	۱/۶۷	۱/۴	۱/۲۵	۱/۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶
اندازه $W_o$	۸/۸	۹/۸	۱۰/۴	۱۱/۱	۱۲/۲	۱۳	۱۳/۶	۱۴/۶
اندازه $W_i$	۱۴/۶	۱۳/۶	۱۳	۱۲/۲	۱۱/۱	۱۰/۴	۹/۸	۸/۸

<sup>۱</sup> Undular flow



شکل ۱- شمای هندسی سرریزهای نوع A و D

تمامی تست ها در یک فلوم شیشه ای به طول ۸ متر، عرض ۸۰ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر انجام شد. محدوده‌ی دبی در این تحقیق بین ۷ تا ۵۷ لیتر بر ثانیه متغیر بوده است. جنس مدل های سرریز از ورق های PVC به ضخامت ۱۶ میلی متر و با ضریب مانینگ ۰/۰۱ انتخاب شد تا بررسی ها روی مدل به واقعیت نزدیک باشد. شکل ۲ نمای کلی از فلوم و نحوی استقرار سرریز ها را نشان می دهد.



شکل ۲- نمای کلی از فلوم و نمونه ای از سرریز ها

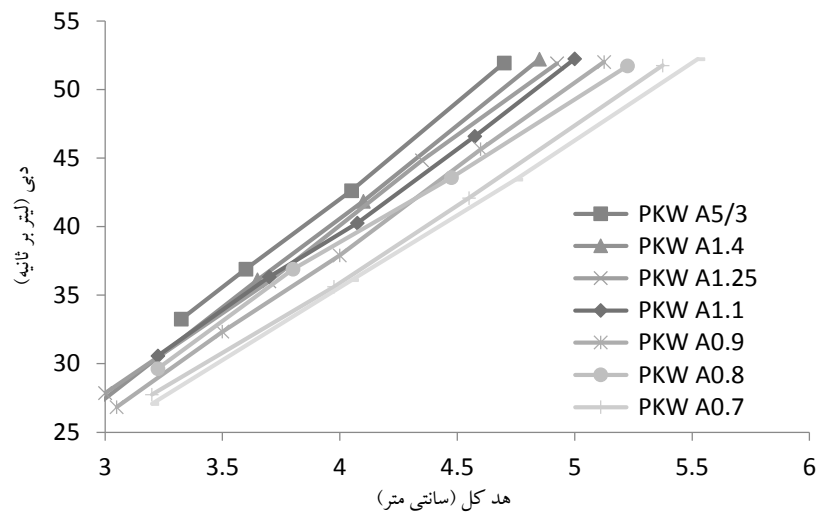
### ۳. نتایج و بحث

۳-۱- مقایسه نسبت های مختلف عرض کلیدهای ورودی به خروجی در سرریز نوع D

به جهت مشابهت عملکرد در دبی های کم مقادیر هد کمتر از ۳ سانتی متر و دبی کمتر از ۲۵ لیتر بر ثانیه در نمودار شکل ۳ نشان داده نشده است. این شکل نشان می دهند که سرریز کلید پیاوویی با نسبت  $\frac{W_i}{W_0}$  برابر با ۱/۶۷ در مقایسه با دیگر سرریزها از عملکرد بالاتری برخوردار است. این نتیجه با آنچه که [6] ارائه کرده مشابه است و تصریح می کند این نتایج برای  $\frac{H_t}{p}$  کمتر از ۰/۶ صادق بوده و برای  $\frac{H_t}{p}$  بزرگتر از ۰/۶ تغییر می کند. جدول ۵ میزان کارایی سرریز کلید پیاوویی با نسبت  $\frac{W_i}{W_0}$  برابر با ۱/۶۷ را نسبت به دیگر سرریزها نشان می دهد. درصد های ارائه شده از برازش نمودار های هر مدل به صورت خطی استخراج شده که شیب خط این توابع در مقایسه با شیب خط تابع مربوط به سرریز PKWD1.67 به صورت درصد بیان گردیده است.

جدول ۳- میزان عملکرد سرریز های نوع D

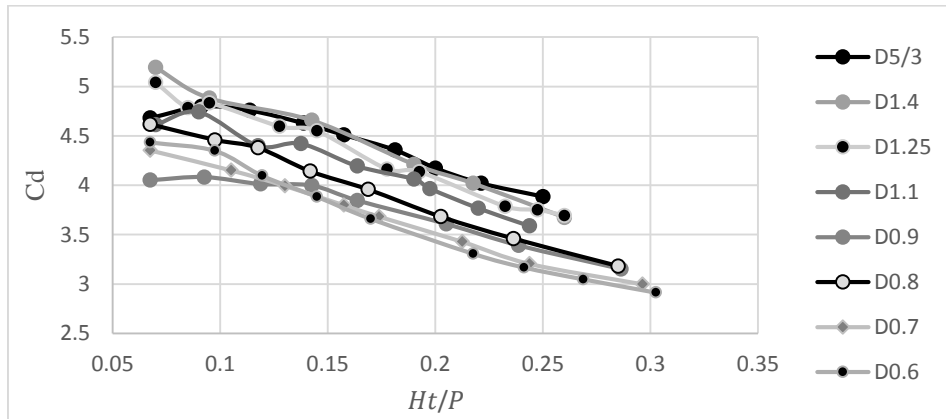
PKW0.6	PKW0.7	PKW0.8	PKW0.9	PKW1.1	PKW1.25	PKW1.4	PKW1.67	مدل سرریز
۲۹/۴٪	۲۴/۴۳٪	۱۸/۷۸٪	۱۶/۳۸٪	۹/۳۷٪	۵/۸۹٪	۵/۹۳٪	۱	نسبت عملکرد PKW D1.67



شکل ۳- نمودار دبی اشل سرریز با نسبت عرض های ورودی به خروجی مختلف

### ۳-۲- ضریب تخلیه

با فرض منطبق بودن معادله عمومی سرریزهای کلید پیاوویی با سرریز های لبه تیز یک بازه را می توان برای ضریب دبی در حالات مختلف مشخص کرد که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- نمودار ضریب دبی نسبت به  $\frac{H_t}{P}$  برای نسبت عرض های کلیدهای ورودی به خروجی متفاوت

### ۳-۳- جریان موجکی

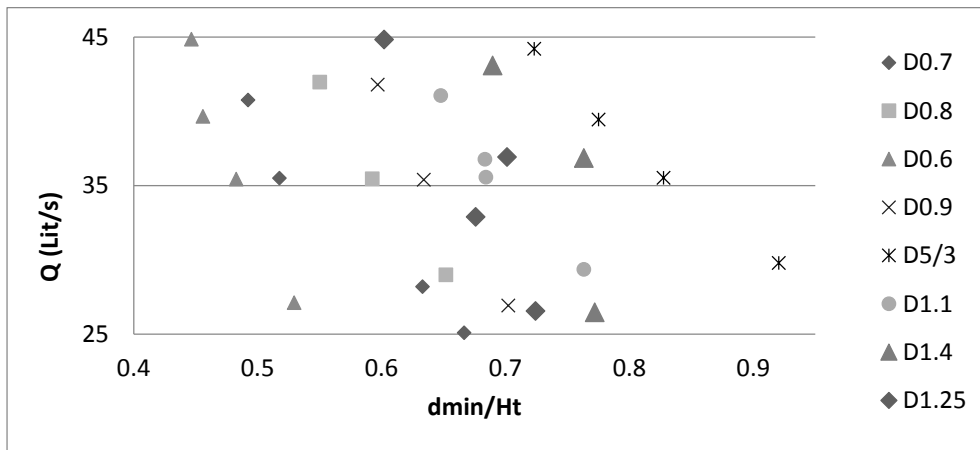
شکل ۵ پروفیل جریان در سرریز نوع D و سرریز نوع A را نشان می دهد که جریان موجکی تنها بر روی سرریز کلید پیاپویی نوع D صورت می گیرد و سرریز کلید پیاپویی نوع A این حرکت موجی شکل را ندارد و افت در پروفیل سطح آب که سبب انقباض جریان و کاهش سطح انرژی می شود در نوع D بارزتر است.



شکل ۵- الف) پروفیل سطح آب سرریز نوع D ب) پروفیل سطح آب سرریز نوع A

هر چه دبی جریان افزایش یابد نقطه  $d_{min}$  به سمت پایین دست جریان تغییر مکان می دهد. با افزایش دبی ارتفاع عمق حداقل  $d_{min}$  نسبت به ارتفاع هد کل به میزان بیشتری کاهش پیدا می کند و به عبارت دیگر افت جریان بیشتر می شود و با افزایش نسبت عرض کلیدهای ورودی سرریز به عرض کلیدهای خروجی آن این افت جریان کاهش پیدا می کند.

شکل ۶ نمودار نسبت  $(\frac{d_{min}}{H_t})$  به دبی جریان را نشان می دهد واحد دبی لیتر بر ثانیه است. همچنین نشان می دهد زمانی که نسبت  $\frac{W_i}{W_o}$  برابر با ۱/۶۷ باشد نسبت  $\frac{d_{min}}{H_t}$  در بازه دبی بین ۲۵ تا ۴۵ لیتر بر ثانیه، بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۲ خواهد بود. برای سرریز کلید پیاپویی نوع D با نسبت عرض کلیدهای ورودی به خروجی برابر با ۰/۶ نسبت  $\frac{d_{min}}{H_t}$  در همین بازه دبی بین ۰/۵۳ تا ۰/۴۶ است.



شکل ۶- نمودار نسبت  $\left(\frac{d_{min}}{H_t}\right)$  به دبی جریان

#### ۴. نتیجه گیری

با بررسی مدل های مختلف سرریز کلید پیانویی می توان اظهار داشت که:

۱. نسبت  $\frac{W_i}{W_o}$  برابر با ۱/۶۷ در سرریز کلید پیانویی نوع A برای  $\frac{H_t}{p}$  کمتر از ۰/۳ در مقاسیه با نسبت های کمتر از آن عملکرد بهتری خواهد داشت به طوری که عملکرد آن در برابر نسبت ۱/۴، ۲ درصد و نسبت به سرریز با نسبت  $\frac{W_i}{W_o}$  برابر با ۰/۶ حدود ۲۱ درصد بستر خواهد بود.
۲. در سرریز های نوع D با افزایش دبی میزان عمق موجک ها نیز افزایش می یابد در صورتی که در سرریز های نوع A همچگونه جریان موجکی مشاهده نمی شود که سبب افت جریان شود.
۳. هر چه دبی جریان افزایش یابد نقطه  $d_{min}$  به سمت پایین دست جریان تغییر مکان می دهد.
۴. با افزایش نسبت عرض کلیدهای ورودی سرریز به عرض کلیدهای خروجی آن افت جریان کاهش پیدا می کند.

#### ۵. مراجع

1. Laugier, F. (2009). Design and construction of a labyrinth PKW spillway at Saint-Marc dam, France, Intl. J. Hydropower & Dams, 15, 100-107.
2. Barcouda, M. and Cazaillet, O. and Cochet, P. and Jones, B. A. and Lacroix, S. and Laugier, F. and Odeyer, C. and Vingny, J. P. (2006). Cost-Effective Increase in Storage and Safety of Most Dams Using Fuse gates or P.K. Weirs, Proc. of the 22nd Congress of ICOLD, Barcelona, Spain.
3. Ouamane, A. and Lempérière, F. (2006). Design of a new economic shape of weir, Proc. of the International Symposium of Dams in the Societies of the 21 st Century, Barcelona, Spain, 463-470.
4. Lempérière, F. and Ouamane, A. 2003. The Piano Keys weir: a new cost-effective solution for spillways, Intl. J. Hydropower & Dams 10, 144-149.
5. Madadi, M. (2013). Effective Parameters on Formation of Undular Flow on the Broad-Crested Weirs, J. Water and Soil, 26(6), 1428-1439.
6. Anderson, R. (2011). Piano Key Weir Head Discharge Relationships, M. Sc, Thesis, Civil and Environmental Engineering Department, Utah State University.
7. Anderson, R. and Tullis, J. P. (2012). Comparison of Piano Key and Rectangular Labyrinth Weir Hydraulics, J. Hydraul. Eng, 138, 358-361.
8. Laugier, F. (2007). Design and construction of the first Piano Key Weir spillway at Goulours dam, Intl. J. Hydropower & Dams, 14. 94-100.



شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل

۱۵ و ۱۶ شهریور ۱۳۹۶



- 9.Saeedi, S. M. H. (2015). Laboratory Modeling of Operation of Piano key weir with Different Dimensions, M. Sc. Thesis. Faculty of Agriculture, Shahid Bahonar University, Kerman, Iran, (in Farsi).