

## سرریزهای کلید پیانویی با دیوار پاراپت مثبت

علیرضا افضلیان<sup>۱</sup>، جواد احدیان<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۰۳ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۲/۲۵

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- عضو هیات علمی گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ja\_ahadiyan@yahoo.com

### چکیده

سرریزهای کلید پیانویی جایگزین مناسبی برای سرریزهای خطی هستند، زیرا به‌ازای بار آبی و عرض سرریز یکسان، دبی واحد عرض را در دهانه سرریزهای بدون تنظیم‌کننده افزایش می‌دهند. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر وجود دیوارهای پاراپت زاویه‌ای بر میزان تخلیه سرریز کلیدپیانویی و مقایسه با سرریزهای اوجی و همچنین اثر آن بر میزان افزایش تراز سطح آب بالادست سرریز است. بدین منظور یک مدل آزمایشگاهی سرریز کلید پیانویی با ارتفاع ثابت ۳۰ سانتی‌متر و دیوارهای پاراپت با شیب‌های مثبت ۳، ۵/۵ و ۸ درجه بر روی یک فلوم آزمایشگاهی با عرض ۸۰ سانتی‌متر، طول ۱۰ متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر ساخته شد. نتایج نشان داد که مدل دیوار پاراپت ۸ درجه بیشترین تأثیر را در میزان افزایش سطح آب بالادست سرریز داراست. این میزان افزایش نسبت به حالت بدون دیوار پاراپت ۱۰ درصد بود. همچنین نتایج نشان داد که زاویه ۸ درجه در دیوار پاراپت، نسبت به زوایای ۵/۵ و ۳ درجه بازده کمتری را در تخلیه جریان دارد؛ اما همچنان در مقایسه با سرریزهای اوجی افزایش بازدهی در حدود ۴۰ درصد در میزان تخلیه جریان نشان داد. این در حالی است که برای دیوارهای پاراپت ۵/۵ و ۳ درجه افزایش سطح آب در حد ۷ و ۳ درصد رخ می‌داد. به‌علاوه در مقایسه با سرریزهای اوجی، دیوار پاراپت ۵/۵ و ۳ درجه به‌ترتیب ۷۲ و ۱۴۰ درصد افزایش تخلیه را نشان داد. همچنین این نتیجه به‌دست آمد که افزایش ارتفاع دیوار پاراپت تا حد مشخصی قابلیت افزایش بازده را دارد.

واژه‌های کلیدی: افزایش سطح آب، سرریزهای *PKW*، سرریزهای اوجی، سرریزهای زیگزاگی، زاویه‌ی دیوار پاراپت

## Piano Key Weirs with Positive Parapet Wall

A Afzalian<sup>1</sup>, J Ahadiyan<sup>2\*</sup>

Received: 12/24/2013

Accepted: 5/15/2015

1-M.Sc. Student, Dept. of Hydraulic Structures, Univ. of Shahid Chamran (SCU), Ahwaz, Iran

2-Dept. of Hydraulic Structures, Univ. of Shahid Chamran (SCU), Ahwaz, Iran

\*Corresponding Author, Email: ja\_ahadiyan@yahoo.com

### Abstract

Piano Key weirs (PKWs) are appropriate alternatives to linear overflow weirs, because of increasing the discharge at the unit length of the unregulated spillway inlet in identical heads and spillway widths. The purpose of this study was to investigate the effect of angled Parapet Wall on the discharge flow and water level upstream piano key weirs and its comparison with the discharge on ogee weirs. To achieve this goal, a Piano Key Weir was constructed as a laboratory model with a constant height of 30 cm and Parapet Wall with positive slopes of 3, 5.5 and 8 degrees in a laboratory flume with 80 cm width, 10 m length and 60 cm height. The results indicated that among the models of Parapet Walls the one with slope of 8 degrees had the greatest impact on the upstream water level of the weir. This increasing relative to the model without Parapet Wall was about of 10 percent. Also, the results showed that at the angle of 8 degrees, the Parapet Wall had lower discharge flow efficiency, as compared to the same at the angles of 3 and 5.5 degrees; but still it was 40 percent more than the discharge flow of the ogee weirs. However, the Parapet Walls with 5.5 and 3 degrees angles led to 7 and 3 percent increase in water level, respectively, compared to the model without Parapet Wall. In addition, the Parapet Wall with 5.5 and 3 degrees angles in comparison to the ogee weirs showed 72% and 140% increase in the discharge flow, respectively. Moreover, it was obtained that the increase of discharge efficiency with increase of Parapet Wall height could occur up to a specific height.

**Keywords:** Angled parapet wall, Increase of water level, Labyrinth weirs, Ogee weirs, Piano Key Weirs

این سرریزها به مخزن سد این امکان را می‌دهد که با تراز بالاتری عمل کنند که خود این موضوع باعث افزایش حجم ذخیره در مخزن می‌شود (لیت ریبریرو و همکاران ۲۰۱۲). دو مزیت عمده این سرریزها نسبت به سرریزهای زیگزاگی<sup>۴</sup> معمولی کاهش فضای سازه‌ای موردنیاز برای احداث و ظرفیت بالای تخلیه سیلاب هست. این ویژگی‌ها اجازه می‌دهد که این سرریزها به آسانی بر روی تاج بسیاری از سدهای وزنی موجود

### مقدمه

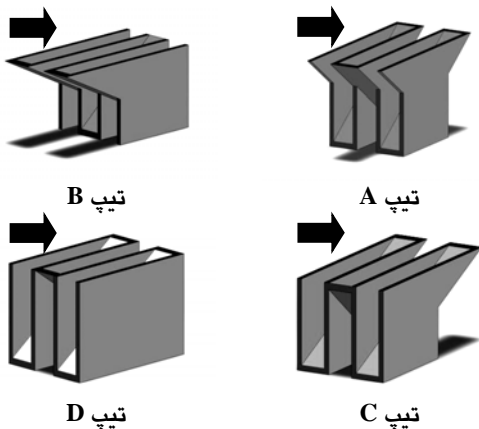
اولین مطالعات مربوط به سرریزهای کلید پیانویی توسط موسسه‌ی هیدروکوپ<sup>۱</sup> فرانسه با همکاری آزمایشگاه هیدرولیک و محیط‌زیست دانشگاه بیسکرا<sup>۲</sup> در الجزایر و آزمایشگاه هیدرولیک و محیط‌زیست وزارت نیرو فرانسه<sup>۳</sup> انجام پذیرفته است.

1-Hydrocoop

2-Biskra

3-EDF (Electrical de France)

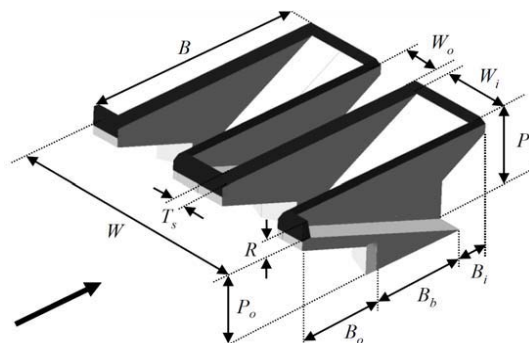
4-Labyrinth weir



شکل ۱- تیپ‌های A، B، C و D سرریزهای کلید پیانویی (لمپریر و همکاران ۲۰۱۱).

مطابق با شکل ۱، تفاوت تیپ‌های مختلف این سرریز در وجود شیروانی‌های بالادست و پایین‌دست است. تیپ A شیروانی‌های بالادست و پایین‌دست را شامل می‌شود. تیپ B شیروانی‌های پایین‌دست و تیپ C شیروانی‌های بالادست را ندارد و در تیپ D هیچ‌کدام از شیروانی‌های بالادست و پایین‌دست وجود ندارند. افزایش دبی سیلاب و مسائل مربوط به ایمنی سدها باعث شده است که کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ<sup>۱۰</sup> اعلام کند، که سرریز بسیاری از سدهای موجود مجدداً موردبررسی و در صورت لزوم اصلاح شوند. از بین گزینه‌های موجود، یکی از مناسب‌ترین اقدامات ساخت و اصلاح به‌وسیله سرریزهای کلید پیانویی است (لاگر و همکاران ۲۰۰۹، ریبریو و همکاران ۲۰۱۲). لمپریر و اومین (۲۰۰۳) اولین آزمایش‌ها را روی تیپ A و B انجام دادند. آن‌ها مطالعات خود را در سال ۲۰۰۶ برای پارامترهای بدون بعد مختلف، توسعه دادند، که در این‌بین، تأثیر پارامتر بدون بعد  $L/W$  را به‌عنوان پارامتری مهم در میزان تخلیه سرریز معرفی نمودند (که  $L$ ، طول تاج سرریز برابر با  $L=n[Wi+Wo+2B]$  و  $W$  نیز عرض محل احداث می‌باشند). لمپریر و همکاران (۲۰۱۱) همچنین تیپ‌های مختلف سرریزهای کلید پیانویی را که از سال ۱۹۹۸ توسط موسسه هیدروکوپ فرانسه مطالعه شده بود را در ۴ نوع مختلف دسته‌بندی

قابل احداث باشند (لمپریر و اومین ۲۰۰۳). همچنین هندسه خاص این سرریز (شیب کلیدها، و نسبت عرض ورودی به خروجی و وجود شیروانی‌های<sup>۵</sup> بالادست و پایین‌دست) باعث افزایش ظرفیت تخلیه، تا حدود ۴ برابر بیشتر از سرریزهای اوچی شده است (لاگر و همکاران ۲۰۰۹، اندرسون و تالیس ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲). در شکل نمای سه‌بعدی سرریزهای کلید پیانویی به‌همراه پارامترهای مهم سازه‌ای و هیدرولیکی نمایش داده شده است.



شکل ۱- نام‌گذاری استاندارد تیپ A سرریز کلید پیانویی (پارالونگ و همکاران ۲۰۱۱).

در شکل  $W$ ، عرض محل احداث،  $T_s$ ، ضخامت تاج،  $R$ ، ارتفاع دیوار پاراپت،  $P_o$ ، ارتفاع کلید خروجی،  $P_i$ ، ارتفاع کلید ورودی،  $W_o$ ، عرض کلید خروجی،  $W_i$ ، عرض کلید ورودی،  $B_i$ ، طول شیروانی ورودی،  $B_o$ ، طول شیروانی خروجی،  $B_b$ ، طول مبنا و  $B$ ، طول تاج جانبی می‌باشند. همچنین  $W_u$ ، عرض یک سیکل (برابر با  $n$  تعداد سیکل  $(W/W_u)$ ، هست (پارالونگ و همکاران ۲۰۱۱). شکل ۱ تیپ‌های مختلف ارائه شده برای انواع سرریزهای کلید پیانویی را نمایش می‌دهد.

- 5-Overhang
- 6-Outlet key
- 7-Inlet key
- 8-Inlet overhang
- 9-Outlet overhang

مدلهای فیزیکی را حتماً احتیاج خواهد داشت (لاگر ۲۰۰۹، سیسرو و همکاران ۲۰۱۱، اریپکام و همکاران ۲۰۱۱).

در این پژوهش با تغییر هندسه دیوارهای پاراپت روی تاج جانبی سرریز کلید پیاپانویی، ضمن مقایسه با میزان تخلیه سرریزهای اوجی میزان افزایش ارتفاع سطح آب نسبت به مدل شاهد، که سرریزی بدون دیوار پاراپت است پرداخته می‌شود. با توجه به بررسی در منابع و تحقیقات گذشته که در بندهای بالا به آن اشاره شد، هدف تحقیق حاضر بر مبنای تغییر هندسه دیوار پاراپت روی تاج جانبی سرریز PKW شکل گرفت و در این راستا، هیدرولیک جریان خروجی از سرریز تحت وجود دیوار پاراپت با هندسه متفاوت با هیدرولیک جریان عبوری از سرریز اوجی مقایسه گردید.

#### مواد و روش‌ها

جهت نیل به اهداف تحقیق حاضر که در واقع در ادامه مطالعات پیشین هست، اقدام به برنامه‌ریزی انجام آزمون‌های آزمایشگاهی گردید. آزمایش‌ها در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. برنامه‌ریزی انجام آزمایش‌ها چنان انجام شد، تا محدوده دبی‌های مورد استفاده بتواند بارهای آبی پایین را نیز تأمین کند. در کل محدوده تغییرات دبی از ۱ لیتر بر ثانیه تا ۱۷۰ لیتر بر ثانیه متغیر در نظر گرفته شد. فلوم مورد استفاده دارای طول ۱۰ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و شیب کف صفر هست. دیواره‌ها از جنس شیشه و کف از نوع فولاد ضدزنگ هست. شکل ۳ پلان و مقطع فلوم آزمایشگاهی و همچنین محل استقرار سرریز را نشان می‌دهد (ابعاد بر حسب متر می‌باشند).

نمودند (شکل ۱). پارالونگ و همکاران (۲۰۱۱) جزئیات و همچنین نام‌گذاری پارامترهای مختلف هندسی سرریزهای کلید پیاپانویی را ارائه دادند. بیست‌وچهار مشخصه هندسی این سرریز توسط آن‌ها معرفی شد.

اندرسون و تالیس (۲۰۱۱) با مقایسه تیپ A و D به این نتیجه رسیدند که وجود شیروانی‌ها اثر مثبتی بر تخلیه جریان دارد، همچنین با بررسی نسبت‌های مختلف

$\frac{W_i}{W_o}$  (عرض کلید ورودی به عرض کلید خروجی) مقدار

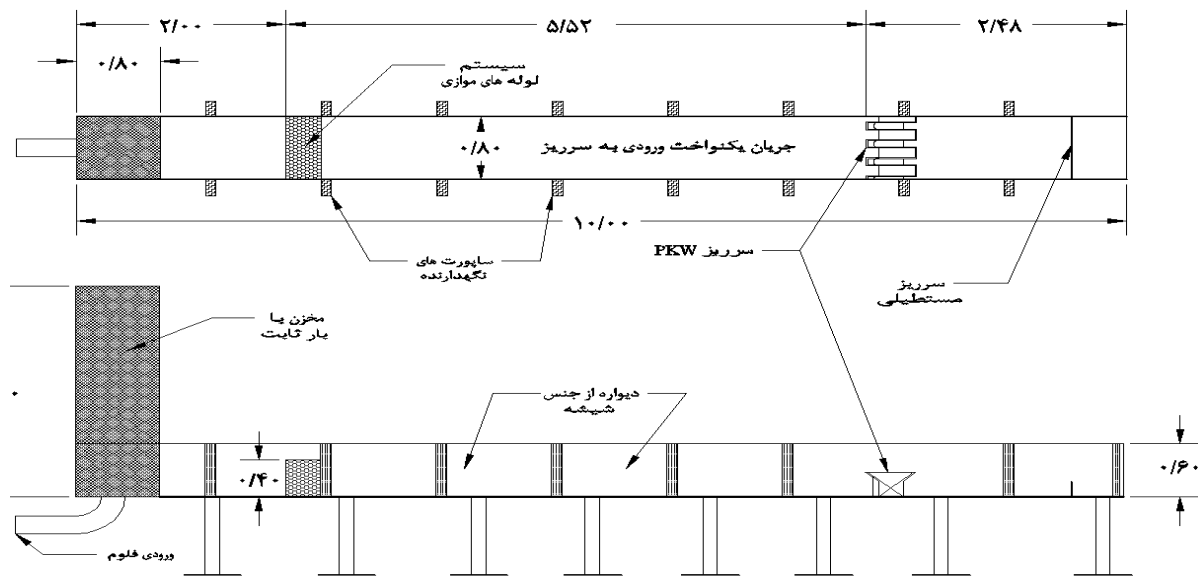
۱/۵ را برای این نسبت عددی بهینه معرفی نمودند.

بررسی‌های آن‌ها برای نسبت‌های بیشتر و کمتر از ۱/۵ نتایج منفی‌ای را بر ضریب تخلیه سرریز نشان داد.

لیت‌ریبیرو و همکاران (۲۰۱۲) با تحلیل داده‌های آزمایشگاهی موجود، ضریب تخلیه‌ای برای سرریزهای کلید پیاپانویی ارائه دادند. این ضریب تابعی از نسبت

پارامترهای  $\frac{B_i + B_o}{B}$  و  $\frac{P_o}{P_i}$ ،  $\frac{(L-W)P_i}{WH}$ ،  $\frac{W_i}{W_o}$  بود.

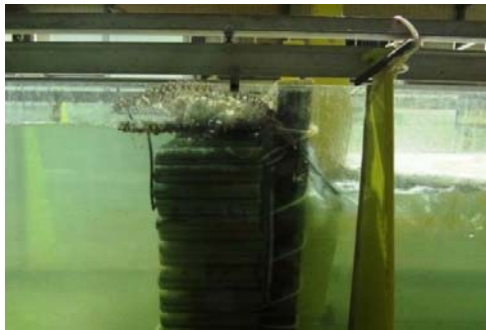
همچنین لیت‌ریبیرو و همکاران (۲۰۰۹) در واقع اولین محققینی بودند که تأثیر دیوار پاراپت را روی بازده هیدرولیکی بررسی نمودند. آن‌ها ارتفاع سرریز را بدون افزایش طول شیروانی افزایش دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش ۱۲/۳ درصدی ارتفاع سرریز، بازده هیدرولیکی آن ۱۵٪ افزایش می‌یابد. کبیری سامانی و جواهری (۲۰۱۲) با بررسی مدل‌های آزمایشگاهی مختلف به ارائه یک ضریب دبی در حالت جریان آزاد و مستغرق پرداختند. میچلز (۲۰۱۲) جامع‌ترین و نسبتاً کامل‌ترین مطالعات را بر روی سرریزهای کلید پیاپانویی انجام داد. او با بررسی پروفیل‌های سرعت، فشار، سطح آب و همچنین عدد فرود، و ساخت مدل‌های آزمایشگاهی که همگی به‌صورت غیرمتقارن<sup>۱۱</sup> جهت تعمیم مشخصات بر کل سرریز بود، نهایتاً به معادلاتی جهت برآورد دبی‌های کلید ورودی، خروجی، و تاج جانبی دست یافت. پیچیدگی جریان بر روی سرریزهای کلید پیاپانویی و نیز پارامترهای تأثیرگذار هندسی زیاد آن‌ها، آزمایش روی



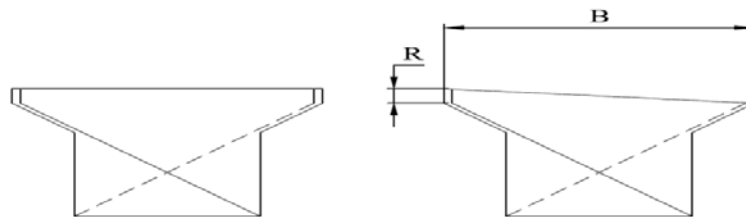
شکل ۳- پلان و پروفیل طولی فلوم آزمایشگاهی و محل قرارگیری سرریز PKW.

بسیار مطلوبی شرایط را برای شروع آزمایشها فراهم آورد. شکل زاویه دیوار پاراپت که در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است را نمایش می دهد. با توجه به شکل، در واقع زاویه  $\alpha^+$ ،  $\text{Arctan}$  نسبت  $\frac{R}{B}$  خواهد بود.

به جهت ساختار ویژه ی فلوم مورد استفاده که جهت آزمایشها مربوط با دبی های بالا ساخته شده است، در ابتدا به جهت آرام نمودن جریان و کنترل نوسانات سطح آب در هنگام قرائت بار آبی روی سرریز، از سیستم شبکه لوله های موازی (شکل) همراه با دو توری فلزی در انتهای آن استفاده شد. که به نحو



شکل ۴- سیستم شبکه لوله های آرام کننده جریان.



شکل ۵- مقطع دیوار پاراپت با زاویه مثبت و کامل.

جریان عبوری از سرریز پس از گذشتن از کلید ورودی به بخش کنترل تاج وارد می شود و پس از عبور از کلید

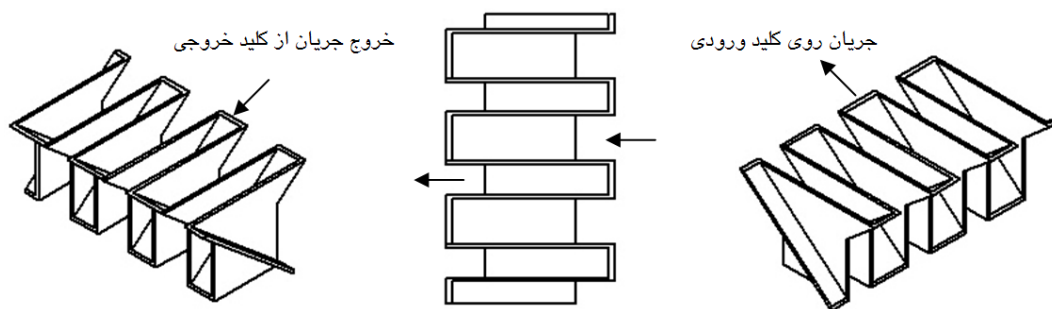
نمای سه بعدی ورود، خروج و پلان جریان روی شکل سرریز کلید پیانویی را نشان می دهد. مطابق با شکل

شدند و همچنین به جهت مشاهده پروفیل‌های سطح آب در کلید ورودی و خروجی، مدل‌ها به صورت ۳/۵ سیکل تهیه گردیدند.

جدول لیست و نسبت‌های مهم ابعاد مدل‌های استفاده‌شده را نشان می‌دهد. در مجموع ۷ مدل آزمایشگاهی با تعداد ۲۰۰ آزمایش در تحقیق حاضر انجام شد. شکل مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت) را نشان می‌دهد.

به جهت مقایسه دبی سرریز اوجی با سرریزهای کلید پیانویی، با توجه به مشخصات سرریز کلید پیانویی (ارتفاع، عرض محل احداث و نیز هد آب روی سرریز) و همچنین در نظر گرفتن نمودارهای ارائه‌شده توسط USBR جهت طراحی سرریزهای اوجی، دبی سرریز اوجی تخمین زده شده است.

خروجی، وارد مقطع پایین دست می‌گردد. مدل‌ها تماماً از صفحات پلکسی گلاس با ضخامت ۱ سانتی‌متر ساخته شدند. جهت اتصال قطعات به یکدیگر پس از برش لیزری از چسب قطره‌ای و جهت آب‌بندی از سیلیکون آنتیا استفاده شد. اتصال مدل به جداره‌ها و کف صرفاً از سیلیکون آنتیا بود. این چسب سیلیکون امکان تسریع در فرآیند انجام آزمایش‌ها را فراهم می‌آورد، به نحوی که پس از ۱ ساعت از اتصال، امکان شروع آزمایش‌ها فراهم می‌شد. جهت خواندن سطح آب از یک عمق سنج نقطه‌ای مستقر روی فلوم استفاده و به جهت حساسیت در میزان جریان، دبی توسط یک دبی سنج دیجیتالی و یک سرریز مستطیلی به عرض ۱ متر، مستقر در انتهای فلوم خوانده و مقایسه و تنظیم می‌شد. ساخته A ضمناً تمام مدل‌های سرریز، با استاندارد تیپ



شکل ۶- نمای سه‌بعدی ورود، خروج و پلان جریان روی سرریز کلید پیانویی.

جدول ۱- ابعاد و نسبت‌های مهم مدل‌های ساخته‌شده.

ارتفاع دیوارهای پاراپت	زاویه دیوارهای پاراپت	نسبت شیب‌روانی‌های ورودی و خروجی به طول تاج جانبی	طول کل تاج به عرض فلوم	طول تاج جانبی	عرض کلید خروجی	عرض کلید ورودی
R(cm)	$\alpha^+$	Bi/B, Bo/B	L/W	B(cm)	Wo(cm)	Wi(cm)
۲/۵ و ۴/۵ و ۶/۵	۳ و ۵/۵ و ۸	۰/۲۳	۴/۹۸	۴۶/۵	۸/۲۰	۱۲/۵

مقایسه نمودار دبی- سطح آب در مدل‌های زاویه‌دار و مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت) در شکل تراز آب و دبی عبوری از سرریز کلید پیانویی برای دیوارهای پاراپت زاویه‌دار و مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت) نشان داده شده است. این شکل گویای آن است که در نمودار مربوط به دیوار پاراپت ۸ درجه به‌ازای دبی‌های کمتر از ۴۰ لیتر بر ثانیه تراز

### نتایج و بحث

با توجه به آنچه در بخش مواد و روش‌ها بیان گردید، آزمایش‌های مربوط به حالت‌های دیوار پاراپت کامل، دیوار پاراپت با زاویه مثبت و مدل شاهد انجام شدند. در ادامه این بخش نتایج به‌دست‌آمده به‌همراه تحلیل هر یک آمده است.

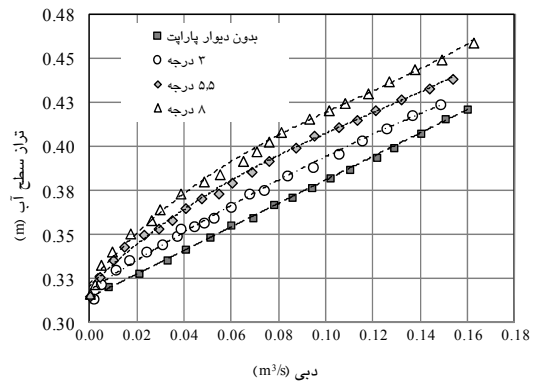
می‌یابد. از آنجایی که با افزایش دبی، طول تاج جانبی مؤثر در تخلیه، افزایش می‌یابد، روند صعودی از بین می‌رود. البته مزیت این اتفاق در دبی‌های کم، همان افزایش سطح آب هست.



شکل ۷- مدل شاهد و نمای پایین دست آن.

مقایسه نمودار دبی- سطح آب در مدل‌های بادیوارهای پاراپت کامل و مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت) در شکل تراز آب و دبی عبوری از سرریز کلید پیانویی برای دیوارهای پاراپت کامل و مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت) نشان داده شده است. همان‌طور در این شکل مشخص است ارتفاع دیوار پاراپت تا اندازه‌ای قابلیت افزایش ظرفیت تخلیه را دارا هست و از آن به بعد تأثیری بر دبی عبوری ندارد. این اتفاق در نمودارهای مربوط به دیوار پاراپت ۶/۵ سانتی‌متری و ۴/۵ سانتی‌متری به وضوح قابل مشاهده هست. توضیح اینکه به دلیل تداخل جت‌های عبوری از تاج جانبی این حالت رخ می‌دهد. با افزایش ارتفاع دیوار پاراپت این اتفاق در بارهای نسبتاً بیشتر اتفاق می‌افتاد. اما از یک ارتفاعی به بعد این تداخل سریع‌تر پدید می‌آید.

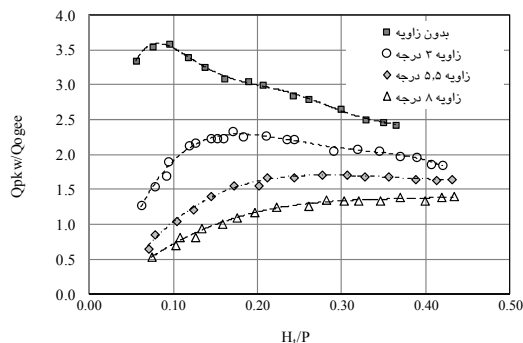
سطح آب به صورت غیرخطی حالت صعودی دارد (از ۳۰ سانتی‌متر به ۳۷/۵ سانتی‌متر افزایش پیدا می‌کند) و از آن پس با روندی نسبتاً خطی همزمان با افزایش دبی، سطح آب رو به افزایش می‌گذارد. دلیل این موضوع این است که ابتدا با کم شدن طول تاج جانبی، مسیر عبور جریان مسدود گردیده و سطح آب به شدت افزایش



شکل ۸- مقایسه دبی اشل دیوارهای پاراپت زاویه‌ای و مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت).

در نمودارهای مربوط به دیوارهای پاراپت ۵/۵ و ۳ درجه نیز روند مشابهی مشاهده شد. در این راستا به ترتیب در دبی‌های ۲۸ و ۱۸ لیتر بر ثانیه روند به شدت صعودی و سپس ثابت می‌شد. تغییرات سطح آب در مدل ۵/۵ درجه تا دبی مذکور از ۳۰ تا ۳۵ سانتی‌متر و در مدل ۳ درجه از ۳۰ تا ۳۳/۵ سانتی‌متر مشاهده شد.

کاهشی این نسبت ( $Q_{PKW}/Q_{Ogee}$ ) زودتر آغاز می‌شود. حال آنکه بیشینه این مقدار در مدل شاهد و به ترتیب ۳، ۵/۵ و ۸ درجه، کاهش می‌یابد.



شکل ۲- نسبت دبی سرریز PKW با دیوار پاراپت

زاویه‌ای به سرریز اوجی در مقابل ( $H_t/P$ ).

با توجه به مسدود بودن کلیدهای خروجی (متناسب با حاصل ضرب تانژانت زاویه دیوار پاراپت در طول تاج جانبی) در ارتفاع‌های کم این اتفاق باعث کاهش بازده تاج جانبی و به‌طور کلی سرریز کلید پیانویی می‌شود که در این حالت سرریز اوجی معادل، بازده بیشتری در تخلیه جریان از خود نشان می‌دهد. در نهایت با مشارکت کلیدهای خروجی در تخلیه جریان (با افزایش ارتفاع آب) این اتفاق از بین می‌رود؛ و در نتیجه افزایش بازده به وقوع می‌پیوندد (شکل ۱۰ مؤید همین مسئله هست).

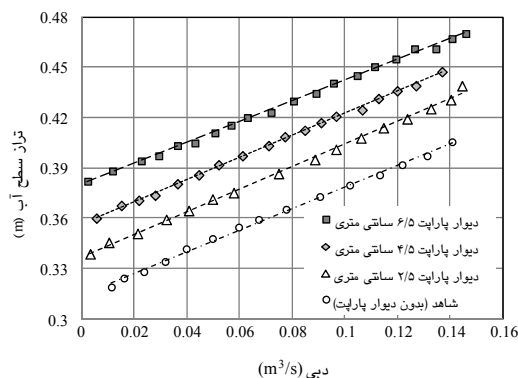
دیوارهای پاراپت کامل و مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت)

شکل ۱۱، نسبت دبی سرریز کلید پیانویی به

سرریزهای اوجی ( $Q_{PKW}/Q_{Ogee}$ ) را در مقابل مجموع بار آبی

به ارتفاع سرریز ( $H_t/P$ ) نشان می‌دهد. همان‌طور که در

شکل ۱۱ مشخص است، در مدل دیوار پاراپت ۴/۵ سانتی‌متری، نسبت دبی سرریز کلید پیانویی به اوجی از تمام مدل‌های دیگر بیشتر است که نشان‌دهنده بهینه



شکل ۹- مقایسه دبی اشل دیوارهای پاراپت کامل با مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت).

مقایسه سرریز کلید پیانویی و سرریزهای اوجی

دیوارهای پاراپت زاویه‌دار و مدل شاهد (بدون

دیوار پاراپت)

شکل ۱۰ نسبت دبی سرریز کلید پیانویی به

سرریزهای اوجی ( $Q_{PKW}/Q_{Ogee}$ ) را در مقابل بار آبی به

ارتفاع سرریز ( $H_t/P$ ) نشان می‌دهد. در هر ۳ مدل

زاویه‌دار با افزایش نسبت  $H_t/P$  مقادیر  $Q_{PKW}/Q_{Ogee}$  افزایش

می‌یابد. در دیوار پاراپت ۸ درجه در  $H_t/P$  برابر ۰/۳۴

دبی سرریز کلید پیانویی حدود ۱/۴ برابر سرریز اوجی

هست. در مدل‌های ۵/۵ و ۳ درجه به ترتیب در  $H_t/P$  های

۰/۲۵ و ۰/۱۷ نسبت  $Q_{PKW}/Q_{Ogee}$ ، ۱/۷۲ و ۲/۴ هست. ملاحظه

می‌شود که با کاهش زاویه از آنجاکه با افزایش ارتفاع

آب، طول تاج جانبی که در تخلیه جریان شرکت می‌کند

در حال افزایش است، نسبت دبی عبوری از سرریز کلید

پیانویی به سرریز اوجی در ابتدا روندی صعودی از

خود نشان می‌دهد. اما با مستغرق شدن کامل سرریز و

تداخل شدید جت‌های جانبی این مقدار در زاویه‌های ۸ و

۵/۵ درجه تقریباً ثابت می‌شود. کاهش نسبت  $Q_{PKW}/Q_{Ogee}$

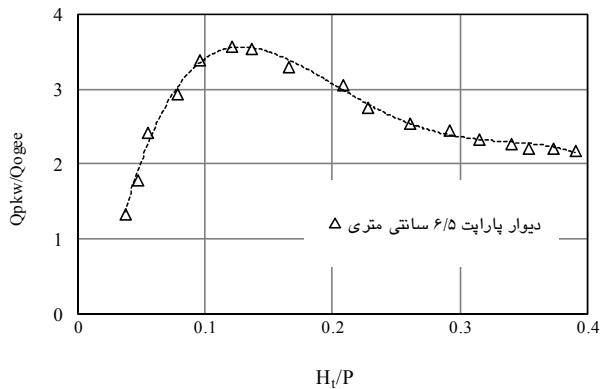
در زوایای ۳/۵ درجه و مدل شاهد به این دلیل است که

تداخل جت‌ها سریع‌تر ایجاد می‌شود، و در واقع روند

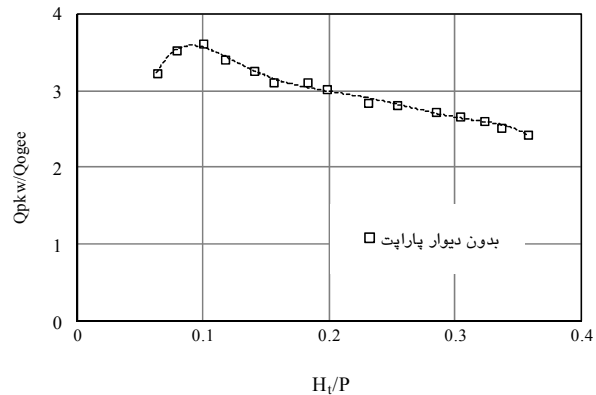


دیگر سرریزهای زیگزاگی بازده بالایی در بارهای آبی پایین دارند.

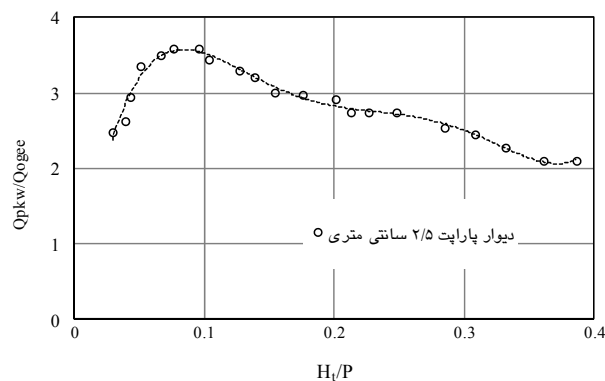
بودن این ارتفاع دیوار پاراپت برای این سرریز با نسبت‌های مهم ذکر شده است. بیشینه مقدار  $\frac{Q_{PKW}}{Q_{Ogee}}$  در تمام مدل‌ها تقریباً در نسبت  $\frac{H_t}{P}$  برابر ۰/۸ است، که نشان‌دهنده آن هست که سرریزهای کلید پیانویی همانند



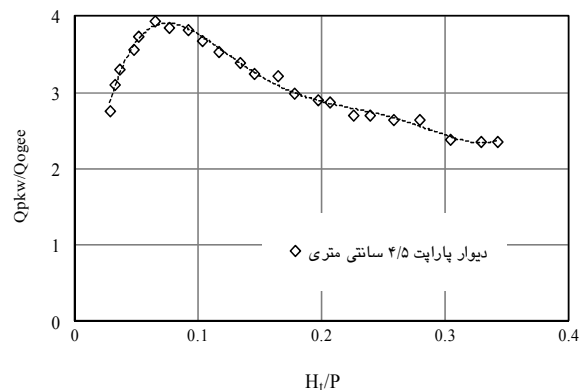
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

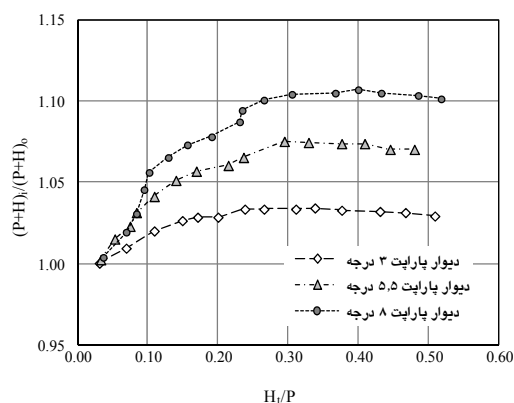
شکل ۳- نسبت دبی سرریز PKW با دیوارهای پاراپت کامل به سرریز اوجی در مقابل  $(\frac{H_t}{P})$ .

هست. کمترین میزان نیز در مدل ۳ درجه برای  $\frac{H_t}{P}$  برابر ۰/۲۹ در حدود ۴ درصد مشاهده می‌شود. در شکل ۱۲ در تمام شیب‌های مثبت مشاهده می‌شود که نسبت تراز آبی در مدل‌هایی با دیوار پاراپت زاویه‌دار نسبت به مدل شاهد (بدون دیوار پاراپت)، ابتدا روندی صعودی، در ادامه تقریباً ثابت و مجدد صعودی و در انتها کاملاً ثابت می‌شود. دلیل این روند را می‌توان به این صورت بیان نمود که در دبی‌های پایین از آنجا که

مقایسه افزایش تراز سطح آب در مدل‌های دیوار پاراپت زاویه‌دار به مدل شاهد همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است، میزان افزایش تراز سطح آب با افزایش زاویه دیوار پاراپت در ابتدا روندی صعودی دارد و سپس به یک مقدار ثابت رسیده و در انتها با افزایش دبی رو به کاهش می‌گراید. بیشترین افزایش سطح آب در مدل ۸ درجه و مربوط به  $\frac{H_t}{P}$  برابر ۰/۳۲ است. این افزایش در حدود ۱۱ درصد

دبی‌های زیاد تداخل تیغه‌ها هم‌زمان با افزایش طول مؤثر سرریز اتفاق می‌افتد روند نزولی متوقف‌شده و بازده سرریزهایی با دیوار پاراپت زاویه‌دار نسبت به مدل شاهد کاهش می‌یابد. این موضوع باعث افزایش نسبت تراز آبی مذکور می‌گردد. در انتها نیز با تداخل بیشتر تیغه‌ها این روند متوقف و ثابت می‌شود. این موضوع نشان می‌دهد که در دبی‌های کم، این شیب‌ها توانایی ایجاد تراز آبی بالاتری را نسبت به مدل شاهد از خود نشان می‌دهند؛ البته با افزایش دبی جریان بازده تخلیه آن‌ها نسبت به مدل‌های بدون دیوار پاراپت کمتر هست.

طول تاج سرریز که در تخلیه‌ی جریان شرکت دارد، اندک است لذا در دبی یکسان نسبت به مدل شاهد افزایش تراز سطح آبی متناسب با افزایش شیب مشاهده می‌شود. اما در ادامه و با افزایش دبی جریان، به دلیل افزایش طول تاج سرریز (به‌ویژه تاج جانبی شیب‌دار) که در تخلیه جریان شرکت می‌کند، تراز سطح آبی مدل‌های شیب‌دار، نسبت به مدل شاهد، روندی تقریباً ثابت پیدا می‌کند، به بیانی دیگر مدل‌های شیب‌دار بازده نزدیک‌تری به مدل شاهد از خود نشان می‌دهند. در ادامه انتظار می‌رود که این روند و پیامد آن نزدیکی بازده مدل‌های شیب‌دار به مدل شاهد در دبی‌های بیشتری نیز ادامه داشته باشد؛ اما به دلیل اینکه در



شکل ۱۲- میزان افزایش تراز سطح آب در سرریزهای با دیوار پاراپت زاویه‌دار.

درصد و برای دیوار پاراپت ۳ درجه، ۱۴۰ و ۷ درصد هست. همچنین این نتیجه عاید شد که افزایش ارتفاع دیوار پاراپت تا اندازه‌ای قابلیت افزایش بازده را دارد. در نتیجه اگر هدف افزایش تراز سطح آب باشد، استفاده از زوایای بزرگ‌تر این امکان را فراهم می‌سازد. اما اگر هدف اصلی تخلیه جریان و البته در کنار آن در فصول کم‌آبی افزایش سطح آب جهت آبیگرهای بالادست به‌ویژه در کانال‌های آبیاری باشد، استفاده از سرریز با زاویه‌های کم توصیه می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر وجود دیوار پاراپت بر میزان افزایش سطح آب، مقایسه با سرریزهای اوجی، و همچنین تخلیه جریان از سه زاویه ۸، ۵/۵ و ۳ درجه استفاده شد. همچنین به‌منظور بررسی تأثیر افزایش ارتفاع با اضافه کردن دیوار پاراپت به سرریز، از سه ارتفاع ۶/۵، ۴/۵ و ۲/۵ سانتی‌متری استفاده شد. مدل ۸ درجه بیشترین تأثیر را در میزان افزایش سطح آب در حدود ۱۰ درصد و همچنین کمترین میزان افزایش تخلیه را نسبت به سرریزهای اوجی در حدود ۴۰ درصد دارا بود. این اعداد به‌ترتیب برای دیوار پاراپت ۵/۵ درجه، ۷۲ و ۳

## منابع مورد استفاده

- Anderson RM and Tullis B, 2011. Influence of Piano Key Weir geometry on discharge, Pp. 75-80. Proceedings of international conference Labyrinth and Piano Key Weirs, Leiden, Netherlands, 9-11 February Liège B. CRC Press, Boca Raton FL.
- Anderson RM and Tullis B, 2012. Comparison of Piano Key and rectangular Labyrinth Weir hydraulics, Journal of Hydraulic Engineering 138(4): 358-361.
- Cicero GM, Menon JM, Luck M and Pinchard T, 2011. Experimental study of side and scale effects on hydraulic performances of a Piano Key Weir. Pp. 167-172. Proceedings of international conference Labyrinth and Piano Key Weirs, Leiden, Netherlands, 9-11 February, Liège B, CRC Press, Boca Raton FL.
- Epicum S, Nagel V and Laugier F, 2011. Piano Key Weir design Study at Raviege dam. Pp. 43-50. Proceedings of international conference Labyrinth and Piano Key Weirs, Leiden, Netherlands, 9-11 February, Liège B, CRC Press, Boca Raton FL.
- Kabiri-Samani A and Javaheri A, 2012. Discharge coefficient for free and submerged flow over Piano Key weirs. Journal of Hydraulic Research 50(1): 114-120.
- Laugier F, Lochu A, Gille C, Leite Ribeiro M and Boillat JL, 2009. Design and construction of a labyrinth PKW spillway at St-Marc Dam, France, International Journal of Hydropower and Dams 15(5): 100-107.
- Lempérière F and Ouamane A, 2003. The Piano Keys weir: a new cost effective solution for spillways. International Journal of Hydropower and Dams 10(5): 144-149.
- Lempérière F, Vigny JP and Ouamane A, 2011. General comments on Labyrinth and Piano Key Weirs The past and present, Pp. 17-24. Proceedings of international conference Labyrinth and Piano Key Weirs, London, Liège B. CRC Press, Boca Raton FL.
- Leite Ribeiro M, Pfister M, Schleiss AJ and Boillat JL, 2012a. Hydraulic design of A-type Piano Key Weirs. Journal of Hydraulic Research 50(4): 400-408.
- Leite Ribeiro M, Pfister M, Boillat JL, Schleiss A.J. and Laugier F, 2012b. Piano key weirs as efficient spillway structure. 24th ICOLD Congress on Large Dams, June 2-8, Kyoto, Japan,
- Machiels O, 2012. Experimental study of the hydraulic behavior of Piano Key Weirs. PhD Thesis ULgetd, University of Liège (B).
- Pralong J, Vermeulen J, Blancher B, Laugier F, Epicum S, Machiels O, Piroton M, Boillat JL, Leite Ribeiro M. and Schleiss A.J, 2011. A naming convention for the piano key weirs geometrical parameters. Pp. 271-278. Proceedings of international conference Labyrinth and Piano Key Weirs, Leiden, Netherlands, 9-11 February, Liège B. CRC Press, Boca Raton FL.