

## ارزیابی و مقایسه هیدرولیک جریان در سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ B و C و سرریز لبه تیز مستطیلی در کانال با انحنای طولی

یاسر مهری<sup>۱</sup>، جابر سلطانی<sup>۲\*</sup>، مجتبی صانعی<sup>۳</sup> و محمد رستمی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، <sup>۲</sup> استادیار، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، <sup>۳</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران و <sup>۴</sup> استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۴

### چکیده

سرریز جانبی سازه‌ای است که در بدنه جانبی کانال قرار می‌گیرد و برای تخلیه جریان اضافی و انحراف جریان، تنظیم سطح آب در رودخانه‌ها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابر مشکلاتی که در تعبیه سرریزهای معمول در مناطق کوهستانی وجود دارد، می‌توان از سرریزهای کلیدپیانویی به‌عنوان سرریز جانبی استفاده کرد. همچنین، کانال‌های منحنی شکل که معمولاً در مناطق کوهستانی وجود دارند، مکان‌هایی هستند که می‌توان سرریزهای جانبی کلیدپیانویی را در این مکان‌ها جانمایی کرد. در این پژوهش، با بررسی آزمایشگاهی بر روی سرریزهای کلیدپیانویی تیپ B، تیپ C و سرریز لبه تیز مستطیلی، عملکرد این سرریزها در زاویه ۳۰ درجه از قوس مورد بررسی قرار گرفت. از نتایج این تحقیق می‌توان به یکسان بودن انرژی مخصوص در دو انتهای سرریز کلیدپیانویی با اختلاف اندک برای تیپ C برابر با ۰/۲۷۲ درصد و برای سرریز تیپ B برابر با ۱/۹۸ درصد در شرایط قوس اشاره کرد. با بررسی و اندازه‌گیری ضریب تخلیه در این سرریزها، این نتیجه به‌دست آمد که سرریزهای کلیدپیانویی دارای ضریب تخلیه بیشتری نسبت به سرریزهای معمولی مستطیلی در قوس هستند. همچنین، در بین دو تیپ سرریز مورد مطالعه در این تحقیق، سرریز تیپ B عملکرد بهتری نسبت به سرریز تیپ C دارد.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی جریان، انرژی مخصوص، بررسی آزمایشگاهی، سرریز کلیدپیانویی، کانال قوسی

### مقدمه

زهکشی و کنترل سیلاب در رودخانه و تنظیم رقوم آب می‌باشد (Zaji و Bonakdari, ۲۰۱۷). سرریزهای جانبی با توجه به موقعیت قرارگیری و همچنین، نوع سرریز می‌توانند رفتارهای متفاوتی از خود نشان دهند (Oertel, ۲۰۱۴). با توجه به این‌که برای بهبود و افزایش مقدار تخلیه سرریزهای جانبی بایستی مقدار طول سرریزها را افزایش داد مشکلات خاصی با این رویکرد برای دستیابی به این هدف ایجاد می‌شود. یکی

سرریزها به‌طور متداول، عمود بر مسیر جریان و یا موازی با جهت جریان طراحی و ساخته می‌شوند. به سرریزهایی که موازی با جهت جریان در کانال اصلی و در دیواره کانال قرار می‌گیرند، سرریز جانبی اطلاق می‌شود (Izadinia و Heidarpour, ۲۰۱۶). وظیفه سرریز جانبی تخلیه جریان اضافی از مسیر اصلی در سیستم‌های فاضلاب شهری، شبکه‌های آبیاری و

شیب‌دار در قسمت ورودی و بدون کلید خروجی است. سرریز تیپ C دارای دماغه در خروجی سرریز و قسمت عمودی در ورودی سرریز است و تیپ D نه دارای دهانه ورودی و نه دماغه خروجی است (Oertel, ۲۰۱۵).

Fares و Herbertson (۱۹۹۳) رفتار جریان در اطراف سرریز جانبی لبه‌پهن را در زاویه ۶۰ درجه از قوس را مورد بررسی قرار دادند. Agaccioglu و Yüksel (۱۹۹۸) سرریز جانبی لبه تیز را در کانال قوسی مورد بررسی قرار داده و رابطه‌ای تجربی برای سرریز جانبی لبه‌تیز مستطیلی در کانال قوسی شکل ارائه دادند. Coşar و Agaccioglu (۲۰۰۴) از سرریز جانبی لبه‌تیز مثلی در کانال منحنی شکل استفاده کردند و ویژگی هیدرولیکی این سرریزها را در قوس مورد بررسی قرار دادند. Pathirana و همکاران (۲۰۰۶) ضریب تخلیه سرریز جانبی لبه‌تیز مستطیلی را در کانال مستقیم در شرایط فوق بحرانی به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. Ağaçcıoğlu و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر سرریز جانبی در زاویه ۳۰ درجه از قوس را بر روی آبشستگی بستر رسوبی مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. Emin Emiroglu و همکاران (۲۰۰۸) از سرریز کنگره‌ای به‌عنوان سرریز جانبی در کانال مستقیم استفاده کردند و به‌صورت آزمایشگاهی ضریب تخلیه در این از سرریزهای جانبی را مورد بررسی قرار دادند. Parvaneh و Borghai (۲۰۰۹) از سرریز مورب برای افزایش تخلیه در کانال مستقیم استفاده کردند و رابطه‌ای تجربی برای سرریزهای جانبی مورب در کانال قوسی ارائه نمودند. Emiroglu (۲۰۱۱) از سرریز نیمه بیضوی در کانال مستقیم به‌عنوان سرریز جانبی استفاده کرد. Kaya و Emiroglu (۲۰۱۱) ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای مثلی را در کانال اصلی مستقیم را با ابعاد و مقاطع مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. Agaccioglu و همکاران (۲۰۱۲) ضریب تخلیه سرریزهای جانبی در کانال های قوسی شکل را مورد بررسی قرار دادند. Vatankhah (۲۰۱۲) یک بررسی تحلیلی و ریاضی بر روی پروفیل سطح آب بر روی سرریز جانبی در کانالی با مقطع ذوزنقه‌ای انجام داد. Vatankhah (۲۰۱۳) همچنین، به بررسی ریاضی و تحلیلی پروفیل سطح

از این مشکلات افزایش هزینه‌های ساخت و طراحی کانال جانبی خروجی با توجه به افزایش طول سرریز و دیگری عدم امکان بهره‌گیری از این روش در مناطق کوهستانی و پیچان‌رودها و همچنین، جاهایی که دارای انحناهای زیاد هستند، به‌علت محدودیت‌های طراحی و محیط زیستی است. بنابراین، پیدا کردن راه‌کاری مناسب برای حل این مشکل ضروری است (Zaji و Bonakdari, ۲۰۱۷).

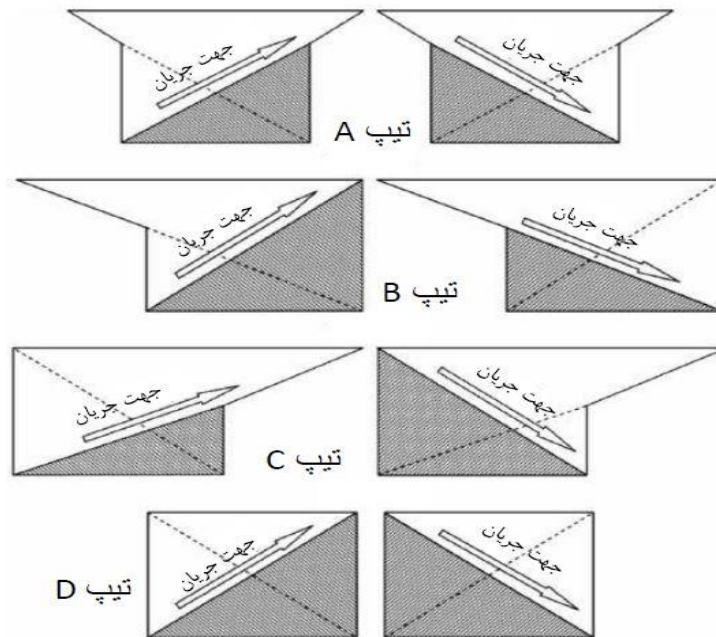
به‌طور کلی، مطالعات بر روی سرریزهای مستطیلی شکل و یا سرریزهای مثلی در کانال مستقیم متمرکز شده است و کمتر به سرریز جانبی در کانال‌های قوسی شکل و پیچان‌رودها پرداخته شده است و نتایج حاصل از این مطالعات برای کانال‌های قوسی شکل مناسب نیست (Emiroglu و همکاران, ۲۰۰۹). جریان در کانال قوسی شکل بسیار پیچیده‌تر از جریان در کانال مستقیم است و نیروی گریز از مرکز، نیروی تأثیرگذار در قوس و رودخانه‌هایی که در حالت عادی منحنی شکل هستند، است (Agaccioglu و همکاران, ۲۰۱۲). یکی از روش‌های بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریزهای جانبی افزایش ظرفیت تخلیه این سرریزها است. سرریزهای غیرخطی که از تیپ جدید سرریزها هستند، ظرفیت تخلیه‌ای معادل ۱/۵ الی پنج برابر سرریزهای عادی را دارند و مشکلات ذکر شده اعم از جانمایی، هزینه و کم بودن ضریب تخلیه را کمتر می‌کنند (Emin Emiroglu و همکاران, ۲۰۱۴).

سرریزهای کلیدپیانویی<sup>۱</sup> (PKW)، نوع جدیدی از سرریزهای غیرخطی هستند که مزایای بهتری نسبت به دیگر سرریزهای خطی از لحاظ جانمایی، میزان تخلیه این سرریزها و ارتفاع آبی که در پشت سرریز جمع می‌شود را دارند (Saleh Issa Khassaf و همکاران, ۲۰۱۶). این سرریزها برای اولین بار به‌وسیله Auamane و Lemperiere (۲۰۰۳) توسعه داده شد، آن‌ها سرریز کنگره‌ای را با کلیدهای ورودی و خروجی ترکیب کردند. سرریزهای کلیدپیانویی به‌طور کلی به چهار نوع تقسیم‌بندی می‌شوند که در شکل ۱ نشان داده شده است. نوع A دارای کلیدهای متقارن نسبت به محور مرکزی است، سرریز تیپ B دارای دهانه

<sup>1</sup> Piano Key Weirs

سیکل ورودی برای سرریز جانبی در کانال مستقیم استفاده کردند و مقدار ضریب تخلیه این سرریزها را مورد بررسی قرار دادند.

آب و ظرفیت تخلیه سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی در کانال با مقطع بیضی وار پرداخت. Emin Emiroglu و همکاران (۲۰۱۴) از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با دو



شکل ۱- انواع سرریزهای کلیدپیانویی

### مواد و روش‌ها

**نحوه انجام آزمایش‌ها:** آزمایش‌های این تحقیق در فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه از جنس پلاکسی‌گلاس و با قطر چهار متر و عرض ۰/۵ متر در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شد. آب بعد از سامانه آرام‌کننده وارد فلوم اصلی می‌شود و سپس از روی سرریز اصلی عبور و به حوضچه آرامش می‌ریزد. یک سرریز مثلثی برای اندازه‌گیری دبی عبوری در پایین دست فلوم قرار داشت، به گونه‌ای که سامانه تامین آب به صورت مدار بسته عمل می‌کرد. آزمایش‌ها بر روی سرریزهای کلیدپیانویی و لبه تیز مستطیلی در زاویه ۳۰ درجه در یک کانال قوسی شکل انجام شد و همچنین، نوع سرریز جانبی را که آزمایش‌ها بر روی آن انجام شد را می‌توان در شکل ۲ مشاهده نمود. در این شکل،  $p$  ارتفاع سرریز،  $W$  عرض کلیدهای ورودی،  $L$  عرض سرریز کلیدپیانویی،  $l$  طول موثر سرریز کلیدپیانویی و عرض بازشدگی کانال جانبی  $B_0$  فاصله پایه سرریز از لبه اولیه کانال جانبی است. سرریز  $W_i$  عرض دهانه ورودی  $W_0$  عرض دهانه

Azimi و Shabanlou (۲۰۱۵) به صورت عددی الگوی جریان در کانال با مقطع مثلثی برای سرریز جانبی مستطیلی بررسی کردند. Zachoval و Riha (۲۰۱۵) ضریب تخلیه سرریز جانبی لبه پهن دوزنقه‌ای را در کانال مستقیم به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. Emiroglu و Aydin (۲۰۱۶) با شبیه‌سازی عددی سرریز کنگره‌ای در کانال مستقیم توانایی مدل‌های عددی را در پیش‌بینی شرایط جریان ارزیابی کردند.

با توجه به مطالعات قبلی و منابع ذکر شده، می‌توان مشاهده نمود که تا کنون بررسی‌ای در مورد سرریزهای جانبی کلیدپیانویی در کانال‌های قوسی شکل انجام نشده است. از این رو، بررسی عملکرد هیدرولیکی این سرریزها در کانال‌های قوسی شکل با توجه به جانمایی کمتر و نوع عملکرد، ضروری به نظر می‌رسد. هدف از این تحقیق، (۱) بررسی آزمایشگاهی بر روی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی تیپ B و تیپ C نسبت به هم در کانال قوسی شکل با زاویه ۳۰ درجه و (۲) مقایسه نتایج آن‌ها با عملکرد سرریزهای لبه تیز مستطیلی در قوس ۳۰ درجه می‌باشد.

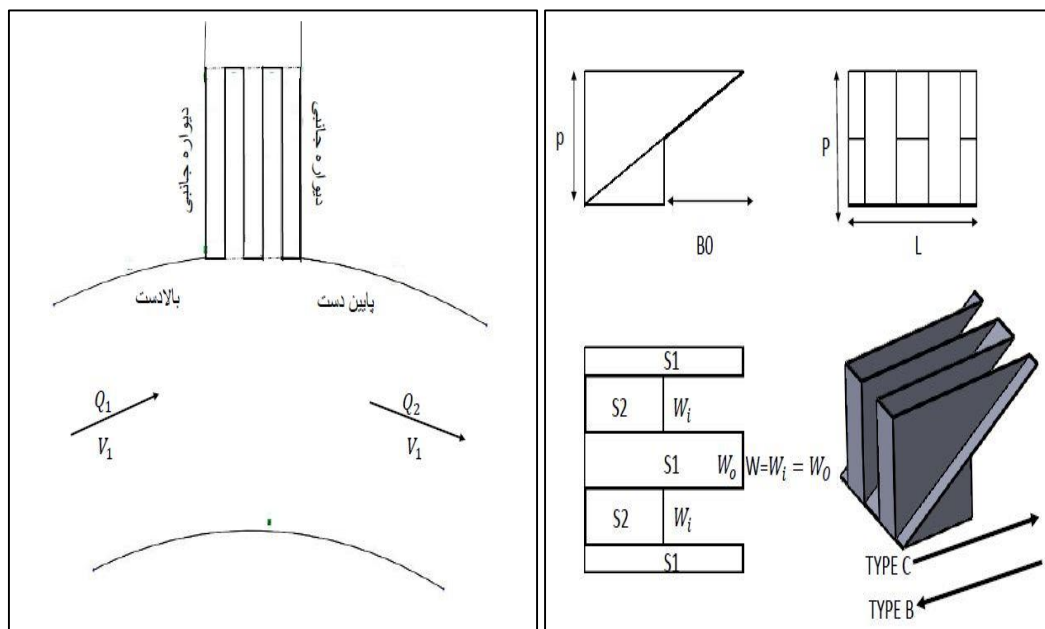
$$\frac{dy}{ds} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{Q}{gA^2}\right)\left(\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \left(\frac{Q^2 b}{gA^3}\right)} \quad (1)$$

که در آن،  $S$  محور عرضی شکاف سرریز جانبی،  $S_0$  شیب کانال اصلی،  $S_f$  شیب انرژی،  $Q$  دبی کانال اصلی،  $\frac{dQ}{ds} = q$  دبی عبوری از واحد عرض سرریز جانبی است و  $\gamma$  تغییرات تراز جریان می‌باشد. دبی در واحد عرض سرریزهای جانبی را می‌توان به شکل معادله (۲) نشان داد.

$$q = \frac{-dQ}{ds} = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h-p)^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

که در آن،  $\frac{dQ}{ds}$  برابر با تغییرات دبی در واحد عرض سرریزهای جانبی،  $Q$  کل در کانال اصلی،  $C_d$  ضریب دبی (ضریب دیماچی)،  $g$  شتاب گرانش،  $h$  ارتفاع آب روی سرریز و  $P$  ارتفاع سرریز مورد نظر است. خطای اندازه‌گیری پروفایلر  $\pm 0.1mm$  و خطای اندازه‌گیری دبی سرریز مستطیلی  $\pm 0.5lit$  و برای سرریز مثلثی برابر با  $\pm 0.2lit$  است.

خروجی سرریز می‌باشد. مشخصات سرریزهای استفاده شده در این تحقیق را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد که در آن B1، B2 و B3 برای سرریز تیپ B و همچنین، C1، C2 و C3 برای سرریز تیپ C و M1، M2 و M3 برای سرریز معمولی مستطیلی استفاده می‌شود. آزمایش بر روی شرایط جریان در قوس زمانی که سرریزهای جانبی کلیدپیانویی و سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی قرار داده شد، انجام شد. دبی عبوری از روی سرریز جانبی و دبی خروجی از کانال اصلی به‌وسیله سرریزهای مستطیلی و مثلثی واسنجی و نصب شده در کانال تخلیه و پایین‌دست قوس کانال استخراج شد. **مبانی سرریزهای جانبی:** با توجه به این‌که جریان در سرریزهای جانبی از نوع متغیر مکانی است، جریان متغیر مکانی از دو نوع جریان متغیر مکانی با کاهش دبی و جریان متغیر مکانی با افزایش دبی تشکیل شده است. شرایط جریان در کانال اصلی زمانی که سرریز جانبی در آن قرار دارد، از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی است که معادله اساسی حاکم بر این جریان در معادله (۱) مشاهده می‌شود.



شکل ۲- نمایی از شکل سرریز کلیدپیانویی مورد مطالعه در این تحقیق

قسمت بر روی این سرریزها تشکیل شده است. جریان ورودی از دهانه ورودی سرریز جانبی و جریان خروجی از کلیدهای خروجی از پایین‌دست کل سرریز جانبی کلیدپیانویی و همچنین، جریان عبوری از دیواره‌های

## نتایج و بحث

**تغییرات جریان هنگام عبور از سرریز جانبی کلیدپیانویی در قوس:** با توجه به شکل جریان بر روی سرریزهای جانبی کلیدپیانویی، جریان از سه

حرکت در نزدیکی سرریز با تغییر روبرو می‌شود. با توجه به شکل ۳، می‌توان مشاهده نمود که پروفیل سطح آب در ابتدای سرریز خطی نبوده و از الگوی جریان در سرریزهای جانبی تبعیت می‌کند.

موازی جهت جریان که سه قسمت را برای عبور جریان از سرریز جانبی کلیدپیانویی فراهم می‌کنند. با توجه به شکل و آزمایش‌های انجام شده، جریان عبوری در محور اصلی کانال قوسی شکل هنگام نزدیک شدن به سرریز جانبی دچار تغییر شکل شده و مسیر

جدول ۱- سرریزهای مورد استفاده در این تحقیق (ابعاد بر حسب متر)

B	l	P	Wi	L	TYPE
۰/۱۷۵	۱/۷۵	۰/۱۴	۰/۰۸۴۵	۰/۳۵	B1
۰/۱۲۵	۱/۲۵	۰/۱۱	۰/۰۶۰۵	۰/۲۵	B2
۰/۰۷۵	۰/۷۵	۰/۰۶	۰/۰۳۴۵	۰/۱۵	B3
.	۱/۷۵	۰/۱۴	۰/۰۸۴۵	۰/۳۵	C1
.	۱/۲۵	۰/۱۱	۰/۰۶۰۵	۰/۲۵	C2
.	۰/۷۵	۰/۰۶	۰/۰۳۴۵	۰/۱۵	C3
-	-	۰/۱۴	-	۰/۳۵	M1
-	-	۰/۱۱	-	۰/۲۵	M2
-	-	۰/۰۶	-	۰/۱۵	M3

قسمت‌های شیب‌دار سرریز سبب عدم تداخل جریان عبوری قسمت‌هایی که عمود بر مسیر جریان هستند، با قسمت‌هایی که موازی با جهت جریان می‌باشند، می‌شود. همچنین، این قسمت سبب هوادهی سرریز و جلوگیری از ایجاد استغراق می‌شود. با توجه به شکل، می‌توان نحوه جدایش جریان در این سرریزها را بر روی لبه‌های جانبی سرریز نیز مشاهده نمود که در دبی و عمق‌های نسبتاً بالا این جدایش دیده نشده و سرریز در لبه‌ها دچار استغراق می‌شود.

جریان در لبه اول سرریز دچار انحراف شده و خود را به سمت لبه دوم سرریز متمایل می‌کند. همچنین، با توجه به الگوی جریان در لبه اول سرریز کلیدپیانویی تیپ B در کلید خروجی ابتدایی سرریز جریان چرخشی ایجاد می‌شود که این مورد در سرریز کلیدپیانویی تیپ C با برگشت آب بر روی لبه‌های سرریز مشاهده شد. با توجه به شکل، به غیر از کلیدهای ورودی و خروجی لبه‌های جانبی سرریز نیز در تخلیه جریان نقش داشته و بخش اعظمی از دبی عبوری به‌وسیله این لبه‌ها انجام می‌شود. همچنین،



شکل ۳- نمایی از سرریزهای کلیدپیانویی تیپ B و C و تغییرات پروفیل سطح آب

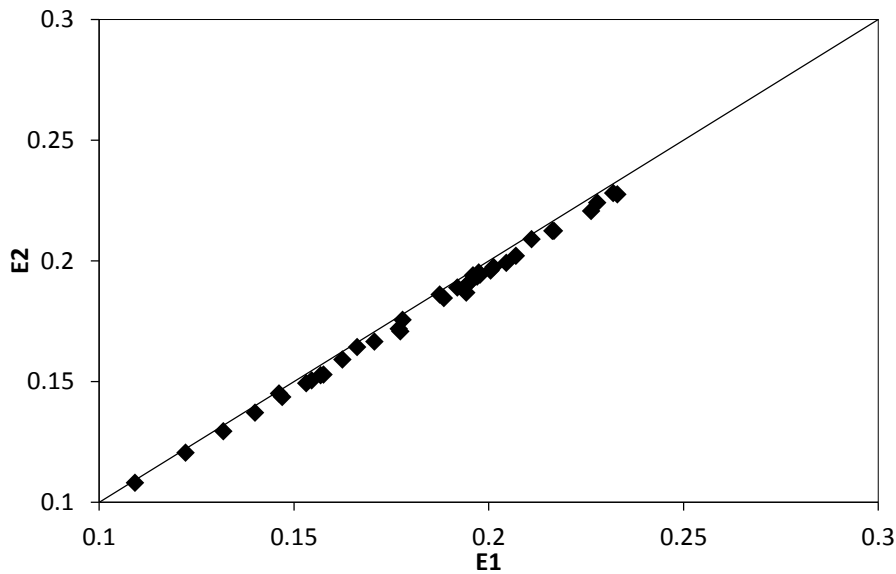
**ثابت بودن انرژی:** با توجه به قوسی شکل بودن کانال

و همچنین، استفاده از سرریزهای جانبی کلیدپیانویی بایستی اصل دیمارچی که ثابت بودن انرژی در لبه اول و دوم سرریز در کانال مستقیم و برای سرریز لبه تیز مستطیلی است، برای شرایط پیچیده فعلی مورد بررسی قرار بگیرد. مقدار انرژی مخصوص در لبه اول و دوم سرریز محاسبه شد، به گونه‌ای که مقدار انرژی مخصوص E1 و E2 در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. برای بررسی مقدار تغییرات ضریب تخلیه، مقدار

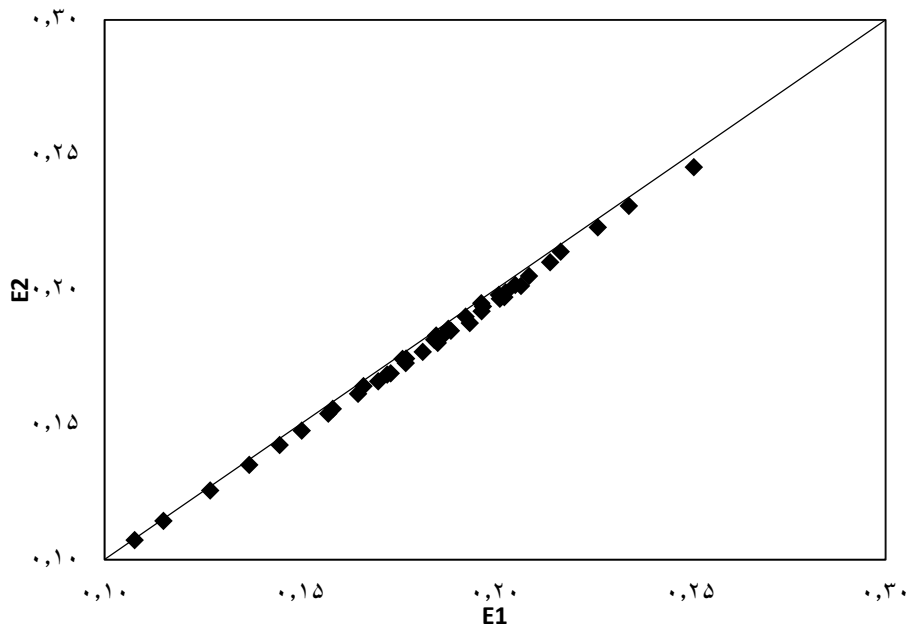
متوسط درصد تغییرات انرژی مخصوص از رابطه (۳) محاسبه شد.

$$T = \frac{100}{N} \sum \frac{|E_2 - E_1|}{E_1} \quad (3)$$

که مقدار آن برای سرریز کلیدپیانویی تیپ C برابر با ۰/۲۷۲ درصد و برای سرریز تیپ B برابر با ۱/۹۸ درصد می‌باشد و با توجه به مطالعات قبلی دارای مقدار قابل قبولی است و می‌توان در نظر گرفت که انرژی مخصوص در این شرایط نیز در لبه اول و دوم سرریز برابر است.



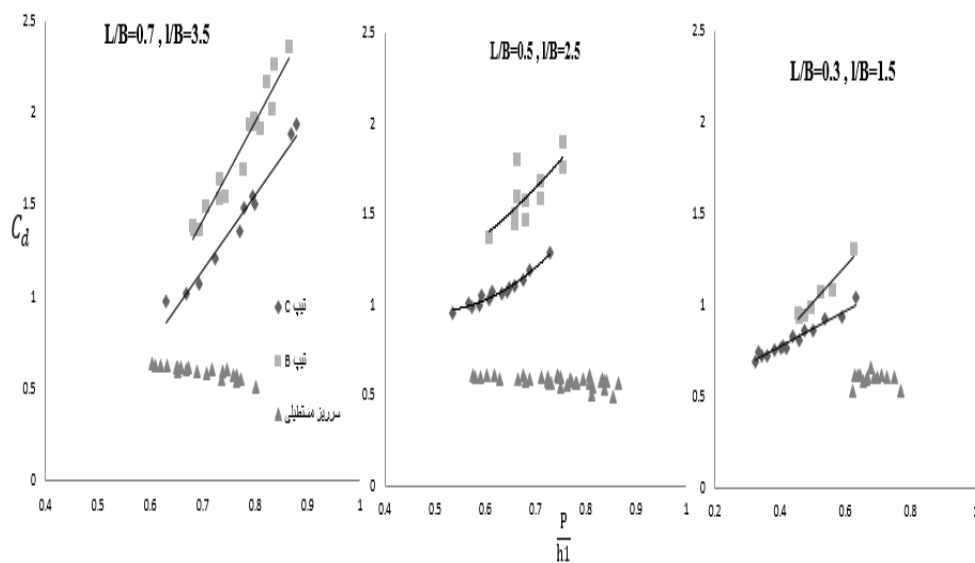
شکل ۴- مقایسه مقدار انرژی در لبه اول و دوم سرریز جانبی تیپ B



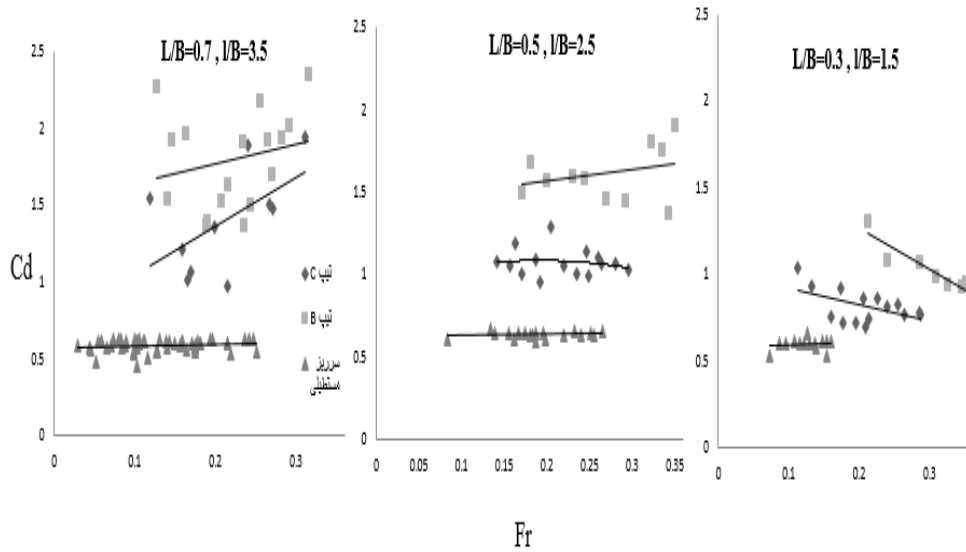
شکل ۵- مقایسه مقدار انرژی در لبه اول و دوم سرریز جانبی تیپ C

نوع طراحی این سرریز جانبی به گونه‌ای است که طول موثر بیشتری نسبت به سرریز لبه تیز مستطیلی دارد. همچنین، با بررسی این نمودار مشخص می‌شود که سرریز تیپ B عملکرد هیدرولیکی بهتری نسبت به سرریز تیپ C دارد که با مطالعات قبلی در کانال زمانی که سرریز به صورت جانبی نبود نیز همخوانی دارد. همچنین، شکل ۷ نحوه تغییرات ضریب تخلیه در مقابل عدد فرود را در سه سرریز با طول و عرض‌های متفاوت نشان می‌دهد. این شکل نیز به بالا بودن ضریب تخلیه در سرریز کلیدپیانویی نسبت به سرریز لبه تیز مستطیلی اشاره می‌کند. همچنین، مقدار ضریب تخلیه سرریزهای کلیدپیانویی تیپ B در مقابل عدد فرود در بین این سرریزها بالاتر است. آرایش کلیدها و دهانه ورودی سرریز یکی از مسائل مهمی است که در سرریزهای کلیدپیانویی سبب تغییر در میزان بده در این دو سرریز شده است. علت این موضوع با توجه به شکل سرریز تیپ B فضای کافی جریان برای عبور از زیر دهانه و رسیدن به لبه آن است. این در حالی است که این نکته در سرریز تیپ C مشاهده نمی‌شود. مکان اضافی در زیر دهانه ورودی در تیپ B وجود دارد که تفاوت در این سرریزها را رقم زده است. همچنین، در شکل‌های ۸ و ۹ مقایسه-ای بین مطالعات قبلی و مطالعه حاضر انجام گرفته است.

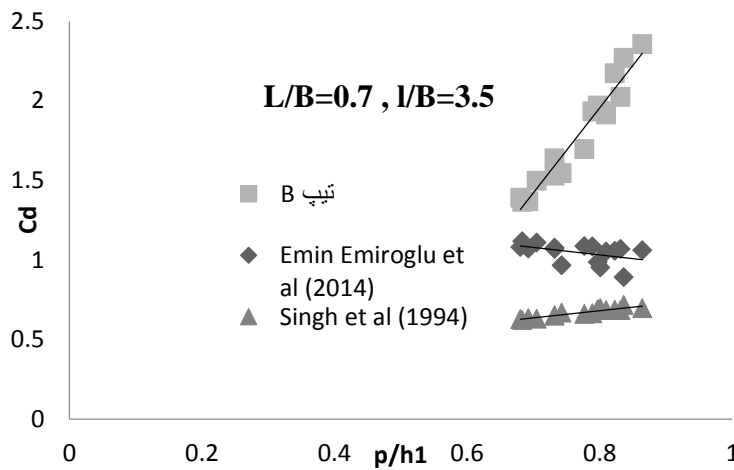
**تغییرات ضریب تخلیه در سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ B و C و مقایسه آن با سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی:** بررسی آزمایشگاهی ضریب تخلیه در سرریزهای کلیدپیانویی و تفاوت آن با سرریز لبه تیز مستطیلی که نشان‌دهنده عملکرد این سرریزهاست، بسیار مهم است. با بررسی آزمایشگاهی ضریب تخلیه در دو تیپ از سرریزهای کلیدپیانویی و همچنین، با بررسی آزمایشگاهی بر روی سرریز لبه تیز مستطیلی ضریب تخلیه در کانال قوسی شکل برای این سرریزها تعیین شد. شکل ۶ مقدار ضریب تخلیه در سرریزهای مورد بررسی در مقابل نسبت بدون بعد  $\frac{P}{h_1}$  نشان می‌دهد. با دقت بر این نمودار، مشاهده می‌شود که ضریب تخلیه در این سرریزها رابطه معناداری با پارامتر  $\frac{P}{h_1}$  دارد، به طوری که ضریب تخلیه سرریز کلیدپیانویی با افزایش این نسبت بدون بعد افزایش پیدا می‌کند. علت این موضوع کوتاه شدن ناحیه جدایی جریان که سبب افزایش طول موثر سرریز شده، در نهایت موجب افزایش ضریب تخلیه می‌شود، است. در مقابل، با کاهش این پارامتر، طول جدایی جریان افزایش یافته و همچنین، میزان استغراق در کلیدهای ورودی سرریز کلیدپیانویی افزایش پیدا می‌کند که در نهایت سبب کاهش ضریب تخلیه می‌شود. همان‌طور که در شکل مشخص است، سرریز کلید پیانویی دارای عملکرد بهتری نسبت به سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی است.



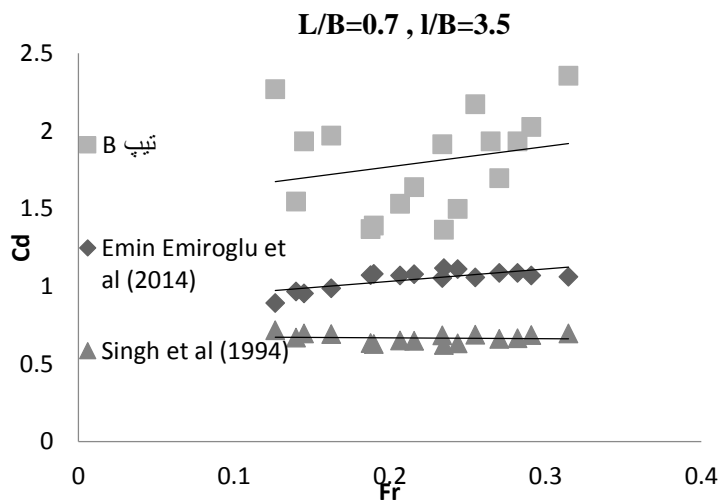
شکل ۶- تغییرات ضریب تخلیه و با سه نسبت بدون بعد متفاوت در مقابل  $\frac{P}{h_1}$



شکل ۷- تغییرات ضریب تخلیه و نسبت بدون بعد فرود در هر سه نوع سرریز



شکل ۸- مقایسه بین ضریب تخلیه سرریز جانبی کلیدپیانویی با مطالعات قبلی در  $\frac{p}{h_1}$  های متفاوت



شکل ۹- مقایسه بین ضریب تخلیه سرریز جانبی کلیدپیانویی با مطالعات قبلی در اعداد فرود مختلف



## نتیجه گیری

در این تحقیق، با بررسی آزمایشگاهی بر روی سرریز کلیدپیانویی تیپ B و تیپ C و سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی عملکرد هیدرولیکی این سرریزها در زاویه ۳۰ درجه از قوس مورد بررسی قرار گرفت. از نتایج این پژوهش، می توان به موارد زیر اشاره نمود.

۱- انرژی مخصوص برای کانال منحنی شکل در زاویه ۳۰ درجه با سرریز جانبی غیرخطی نیز پایدار بوده و مقدار اختلاف E1 و E2 در این مطالعه بسیار ناچیز بوده به گونه ای که مقدار آن برای سرریز کلیدپیانویی تیپ C برابر با ۰/۲۷۲ درصد و برای سرریز تیپ B برابر با ۱/۹۸ درصد می باشد.

۲- جریان عبوری از سرریز جانبی کلیدپیانویی دارای سه قسمت اصلی است که شامل جریان عبوری از کلیدهای ورودی، کلیدهای خروجی، لبه های جانبی سرریز است. زمانی که از این سرریزها به عنوان سرریز جانبی استفاده می شود، جریان متمایل به لبه دوم سرریز می باشد و سهم دبی عبوری از کلیدهای نزدیک لبه دوم بیشتر است.

## منابع مورد استفاده

- ۳- سرریزهای کلیدپیانویی جانبی دارای عملکرد مناسب تری نسبت به سرریزهای معمولی و لبه تیز مستطیلی به عنوان سرریز جانبی هستند و ضریب تخلیه این سرریزها بالاتر از سرریزهای دیگر است. وجود طول موثر بیشتر در نوع طراحی این سرریزها سبب افزایش ضریب تخلیه در این سرریز است.
- ۴- با توجه به بالا بودن مقدار ضریب تخلیه سرریزهای جانبی کلیدپیانویی در این تحقیق، یکی از مشکلات اساسی در مناطق کوهستانی، پیچان رودها و کانال های منحنی شکل که به علت محدودیت های اقتصادی، طراحی و جانمایی امکان افزایش عرض کانال جانبی وجود ندارد با سرریزهای کلیدپیانویی حل می شود.
- ۵- مطابق شکل های ۶ و ۷، مقدار ضریب تخلیه اندازه گیری شده در سرریز جانبی کلیدپیانویی تیپ B بالاتر از سرریز جانبی تیپ C است.
- ۶- در این تحقیق، پارامتر  $\frac{P}{h_1}$  پارامتر تأثیرگذار اصلی بر روی ضریب تخلیه سرریزهای جانبی است. با افزایش این پارامتر ضریب تخلیه در این سرریزها افزایش می یابد.

1. Agaccioglu, H., M.E. Emiroglu and N. Kaya. 2012. Discharge coefficient of side weirs in curved channels. Paper presented at the Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, 165(6): 339-352.
2. Ağaçcıoğlu, H., F. Önen and Z.F. Toprak. 2007. Scour around a side-weir at a 30° section of a 180° alluvial curved channel. Irrigation and Drainage, 56(4): 423-438.
3. Agaccioglu, H. and Y. Yüksel. 1998. Side-weir flow in curved channels. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 124(3): 163-175.
4. Ameri, M., A.A. Dehghani and A. Ahmadi. 2016. Elementary discharge coefficient triangular rectangular sharp-crested side weir in subcritical flow. International Journal of River Basin Management, 10(1): 12-23.
5. Aydın, M.C. and M.E. Emiroglu. 2016. Numerical analysis of subcritical flow over two-cycle trapezoidal labyrinth side weir. Flow Measurement and Instrumentation, 48: 20-28.
6. Azimi, H. and S. Shabanlou. 2015. The flow pattern in triangular channels along the side weir for subcritical flow regime. Flow Measurement and Instrumentation, 46: 170-178.
7. Bilhan, O., M.E. Emiroglu and O. Kisi. 2011. Use of artificial neural networks for prediction discharge coefficient of triangular labyrinth side weir in curved channels. Advances in Engineering Software, 42(4): 208-214.
8. Borghei, S., M. Jalili and M. Ghodsian. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. Journal of Hydraulic Engineering, 125(10): 1051-1056.
9. Coşar, A. and H. Agaccioglu. 2004. Discharge coefficient of a triangular side-weir located on a curved channel. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 130(5): 410-423.
10. Emin Emiroglu, M., M. Cihan Aydın and N. Kaya. 2014. Discharge characteristics of a trapezoidal labyrinth side weir with one and two cycles in subcritical flow. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 140(5): 40-57.
11. Emiroglu, M.E. and N. Kaya. 2011. Discharge coefficient for trapezoidal labyrinth side weir in subcritical flow. Water Resources Management, 25(3): 1037-1058.

12. Emiroglu, M.E., N. Kaya and H. Agaccioglu. 2009. Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(1): 37-46.
13. Fares, Y. and J. Herbertson. 1993. Behaviour of flow in a channel bend with a side overflow (flood - relief) channel. *Journal of Hydraulic Research*, 31(3): 383-402.
14. Izadinia, E. and M. Heidarpour. 2016. Discharge coefficient of a circular-crested side weir in rectangular channels. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 142(6):16-28.
15. Kaya, N. and M.E. Emiroglu. 2011. Discharge coefficient of a semi-elliptical side weir in subcritical flow. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22(1): 25-32.
16. Lempérière, F. and A. Ouamane. 2003. The pianokeys weir: a new cost-effective solution for spillways. *International Journal on Hydropower and Dams*, 10(5): 144-149.
17. Onen, F. 2014. GEP prediction of scour around a side weir in curved channel. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 22(3): 161-170.
18. Parvaneh, A. and S. Borghei. 2009. Oblique side weir. Paper presented at the proceedings of the 33rd Congress of the International Association for Hydraulic Research.
19. Pathirana, K., M. Munas, A. Jaleel. 2006. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in supercritical flow. *Journal of the Institution of Engineers*, 39(2): 17-24.
20. Říha, J. and Z. Zachoval. 2015. Flow characteristics at trapezoidal broad-crested side weir. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 63(2): 164-171
21. Vatankhah, A.R. 2012. Briefing: Water surface profile over side weir in a trapezoidal channel. Paper presented at the proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management, 165:247-252.
22. Vatankhah, A.R. 2013. Water surface profile along a side weir in a parabolic channel. *Flow Measurement and Instrumentation*, 32: 90-95.
23. Zaji, A.H. and H. Bonakdari. 2017. Optimum support vector regression for discharge coefficient of modified side weirs prediction. *INAE Letters*, 2(1): 25-33.

## Evaluation and comparison of flow hydraulic in side piano key weirs of type B, type C and sharp crest side weir in a curved channel

Yaser Mehri<sup>1</sup>, Jaber Soltani<sup>\*2</sup>, Mojtaba Saneie<sup>3</sup> and Mohammad Rostami<sup>4</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, University College of Abureyhan, University of Tehran, Tehran, Iran, <sup>2</sup> Assistant Professor, University College of Abureyhan, University of Tehran, Tehran, Iran and <sup>3</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran and <sup>4</sup> Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Received: 15 July 2017

Accepted: 29 November 2017

### Abstract

A side weir is a structure which is set in a side of main channel and used for discharge of additional flow, diverting excess water and water level control of channels and in irrigation and drainage systems. Due to difficulties presented in mountainous regions, lateral 'piano key weirs' could be used in arc-shaped channels. In addition, curved channels, which are commonly used in mountainous areas, are places that can be used to locate the side piano key weirs. In this research, experimental investigation was performed on side piano key weirs type B, type c and sharp crest side weir on flow in the 30 degree curved channel. Among the findings of the above survey, one could point out to the equality of the specific energy on the two edges of piano key lateral weirs, the changes of which equal 0.277% for type C piano key lateral weir and 1.98% for type B weir. Also, focusing on the empirical analyses, it becomes evident that the coefficient of discharge for piano key weir bears a higher quantity considering the more effective length corresponding to rectangular weir. Comparing the coefficient of discharge of the two weir types C and B, it becomes evident that type B weir has a better functioning in relation to type C.

**Keywords:** Curved channel, Experimental investigation, Flow pattern, Piano key weirs, Specific energy

---

\* Corresponding author: jsoltani@ut.ac.ir