

توان افزایش سطح آب در سرریزهای کلید پیانویی با استفاده از نمونه های فیزیکی

جواد احدیان^۱، علیرضا افضلیان^۲

چکیده:

سیستمهای آبرگیری در شبکه های آبیاری و زهکشی همواره با این مشکل روبرو هستند که در فصول کم آبی با کاهش سطح آب، امکان آبرگیری آبرگیرها با حداکثر ظرفیت فراهم نیست. در پژوهش حاضر، به کمک نمونه هایی از سرریز کلید پیانویی با توانایی تغییر شیب در تاج آن، این موضوع بررسی شده است که با کاهش دبی، توان حفظ تراز آب به چه میزان است؛ همچنین شبیه های مختلف دیواره های سپری تا چه اندازه توانایی افزایش سطح آب به ازای بده هایی برابر با دبی نمونه ی شاهد (بدون دیواره های سپری) را از خود نشان می دهند. بدین منظور، دیواره های سپری با سه زاویه ی ۳۰، ۵/۵ و ۸/۰ درجه در جهت جریان (مثبت) و نیز در خلاف آن (منفی)، و همچنین با سه ارتفاع ۲/۵، ۴/۵ و ۶/۵ سانتیمتر (بدون زاویه) بر روی دو سرریز کلید پیانویی با نسبت های $\frac{P}{W_u} = 1/33$ و $\frac{P}{W_u} = 0/50$ ساخته شدند. آزمایشها در مورد یک نهر پایه دار آزمایشگاهی با عرض ۸۰ سانتی متر، طول ۱۰ متر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر انجام شدند. نتایج نشان دادند که توانایی افزایش سطح آب در نمونه ی ۲ به مراتب از نمونه ی ۱ بیشتر، و تأثیر منفی و یا مثبت بودن شیب با افزایش زاویه قابل صرف نظر کردن می باشد. از طرفی، تحلیل داده ها نشان داد که ضریب بده ی جریان ابتدا با افزایش H/P روندی صعودی داشته و به بیشترین مقدار خود می رسد، و در انتها نیز کاهش می یابد. بطور کلی وجود دیوار سپری بدون شیب ضریب بده را در حدود ۱۵ درصد افزایش داد. همچنین، رابطه ی به دست آمده برای ضریب بده ی سرریز کلید پیانویی با دیواره های سپری شیب دار دارای R^2 برابر با ۰/۹۷۷، و شاخص های آماری NRMSE و WQD به ترتیب ۰/۱۴۷ و ۰/۰۰۴ می باشند.

واژه های کلیدی: تاج شیب دار، سرریزهای کلید پیانویی، سطح آب، فصول کم آبی، ضریب تخلیه.

^۱-دانشیار گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز (Ja_ahadiyan@yahoo.com)

^۲-فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

مقدمه:

را در مورد نوع A و B انجام دادند. آنها مطالعات خود را در سال ۲۰۰۶ برای فراسنجهای بدون بعد مختلف، توسعه دادند، که در این بین، تأثیر فراسنج بدون بعد را به عنوان فراسنجی مهم در میزان تخلیه‌ی سرریز معرفی نمودند. هین و همکاران (۲۰۰۶)، با بررسی سرریز نوع A، به این نتیجه رسیدند که $n=7$ برای مقادیر کم و ۵ و $n=6$ برای مقادیر بیشتر، باعث افزایش بازدهی سرریز می‌شوند. بارکودا و همکاران (۲۰۰۶)، با بررسی انواع A و B به این نتیجه رسیدند که $n=6$ بهینه است. همچنین، نسبت $\frac{W_i}{W_0}$ را نیز، $1/20$ پیش‌بینی نمودند. آنها دریافتند که با افزایش شیب کلیدها از ۲:۱ به ۳:۲ در هر دو نوع A و B، سرریز، افزایش بازدهی را در حدود ۲۵٪ از خود نشان می‌دهد. لمپریرو و همکاران (۲۰۱۱)، همچنین انواع مختلف سرریزهای کلیدپیانویی را، که از سال ۱۹۹۸ به وسیله‌ی موسسه‌ی Hydrocoop فرانسه مطالعه شده بود، به ۴ شکل مختلف دسته‌بندی نمودند. در نوع A، شیروانیهای بالادست و پایین‌دست وجود دارند؛ نوع B و C به ترتیب فقط دارای شیروانیهای بالادست و فقط دارای شیروانیهای پایین‌دست بوده، و در نوع D هیچ کدام از شیروانیها وجود ندارد. پارالونگ و همکاران (۲۰۱۱)، جزئیات، و همچنین نامگذاری فراسنجهای مختلف هندسی سرریزهای کلیدپیانویی را ارائه دادند. ۲۴ مشخصه‌ی هندسی این سرریز به وسیله‌ی آنها معرفی شده اند. اندرسون و تالیس (۲۰۱۱)، با مقایسه‌ی انواع A و D به این نتیجه رسیدند که وجود شیروانیها اثر مثبتی بر تخلیه‌ی جریان دارد. همچنین، با بررسی نسبتهای مختلف، (عرض کلید ورودی به عرض کلید خروجی) مقدار $1/50$ را برای این نسبت عددی بهینه معرفی نمودند. بررسیهای آنها برای نسبتهای بیشتر و کمتر از $1/50$ نتایج نامطلوبی را بر ضریب تخلیه‌ی سرریز نشان داد. لیتریبیرو و همکاران (۲۰۱۲)، با تحلیل داده‌های آزمایشگاهی موجود ضریب تخلیه‌ی را برای سرریزهای کلیدپیانویی ارائه دادند. این ضریب تابعی از نسبت فراسنجهای ، ، و بود. کبیری سامانی و جواهری (۲۰۱۲)، با بررسی نمونه های مختلف، آزمایشگاهی به ارائه‌ی یک ضریب بده در حالت‌های جریان آزاد و مستغرق پرداختند. میشلز (۲۰۱۲)، جامعترین و نسبتاً کاملترین مطالعات را بر روی سرریزهای

توانایی بالای سرریزهای کلیدپیانویی^۳ در تخلیه‌ی جریان یک مزیت عمده‌ی این نوع خاص از سرریزهای کنگره ای^۴ می‌باشد. این سرریزها به آبگیر سدها این امکان را می‌دهند تا با تراز بالاتری عمل کنند، که این خود باعث افزایش حجم ذخیره در مخزن می‌شود [۸]. دو مزیت عمده‌ی این سرریزها نسبت به سرریزهای کنگره ای معمولی شامل کاهش فضای سازه‌ای مورد نیاز برای احداث، و ظرفیت بالای تخلیه‌ی سیلاب می‌باشد. این ویژگیها اجازه می‌دهند که سرریزهای مزبور به آسانی بر روی تاج بسیاری از سدهای وزنی موجود قابل احداث باشند [۵]. همچنین، هندسه‌ی خاص این سرریز (شیب کلیدها، و نسبت عرض کلید ورودی به خروجی و وجود شیروانیهای بالادست و پایین‌دست) باعث افزایش ظرفیت تخلیه، تا حدود ۴ برابر بیشتر از سرریزهای پیوند منحنی شده است [۱، ۲ و ۶]. شکل ۱ نمای سه بعدی سرریزهای کلیدپیانویی را به همراه فراسنجهای مهم سازه‌ای و هیدرولیکی نمایش می‌دهد.

مطابق با شکل ۱ و براساس قرارداد نامگذاری سرریزهای کلیدپیانویی، T، ضخامت تاج جانبی؛ P، ارتفاع سرریز؛ P_h، ارتفاع سد؛ W₀، عرض کلیدخروجی؛ W_i، عرض کلید ورودی؛ B_i، طول شیروانی پایین‌دست؛ B₀، طول شیروانی بالادست؛ B، طول بالادست-پایین‌دست سرریز؛ R، ارتفاع دیواره‌های سپری^۱؛ و W_u، عرض یک دوره^{۱۱} می‌باشند. افزایش بده‌ی سیلاب و مسائل مربوط به ایمنی سدها باعث شده است که کمیته‌ی بین‌المللی سدهای بزرگ^{۱۲} اعلام کند، که سرریز بسیاری از سدهای موجود مجدداً مورد بررسی گردیده و در صورت لزوم اصلاح شوند. از بین گزینه‌های موجود، یکی از مناسبترین اقدامات ساختن و اصلاح با کاربرد سرریزهای کلیدپیانویی است [۶ و ۸]. لمپریرو و همکاران (۲۰۱۱)، اولین آزمایشها

³ - piano key weir

⁴ - labyrinth weir

⁵ - weir height

⁶ - outlet key width

⁷ - inlet key width

⁸ - outlet overhang

⁹ - inlet overhang

¹⁰ - parapet wall

¹¹ - width of one Cycle

¹² - International Committee of Large Dam

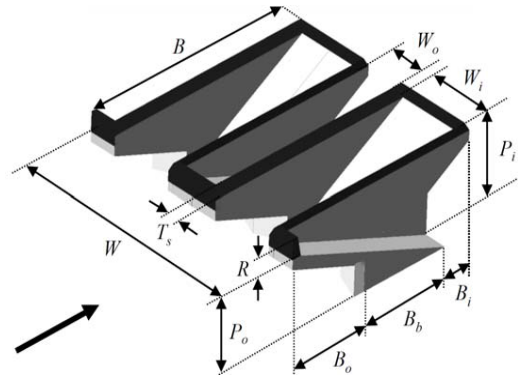
این موضوع که در پژوهش حاضر نسبت‌های $\frac{W_i}{W_o}$ و $\frac{B_i}{B_o}$ ثابت در نظر گرفته شده اند. همچنین، نظر به محدودیتهای نهر پایه دار آزمایشگاهی، مقدار $\frac{L}{W} = 4/98$ برای تمام نمونه ها نیز ثابت می‌باشد؛ لذا در نهایت، ضریب تخلیه‌ی جریان تابعی از فراسنجهای بی بعد به شرح معادله‌ی ۲ معرفی شده است:

$$C_{da} = f \left(We, \frac{P_{av}}{Wu}, \frac{R}{P}, \frac{H}{P}, \frac{H}{L_{wu}}, \frac{R}{B} \right) \quad (2)$$

شکل ۲ برش عرضی و مقطع طولی مدل سرریز کلیدپیانویی با دیواره‌های سپری شیبدار برای نمونه‌ی (مدل ۱)، نشان می‌دهد.

تجهیزات آزمایشگاهی:

آزمایشها در آزمایشگاه نمونه‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده‌ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شدند. برنامه‌ریزی انجام آزمایشها چنان بود، تا محدوده‌ی بده‌های مورد استفاده بتواند بارهای آبی پایین را نیز تامین کند. در کل، محدوده‌ی تغییرات بده از ۱ لیتر بر ثانیه تا ۱۶۰ لیتر بر ثانیه متغیر در نظر گرفته شد. نهر پایه دار مورد استفاده دارای طول ۱۰ متر، عرض ۸۰ سانتیمتر، ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر و شیب کف صفر و همچنین، دیواره‌ها از جنس شیشه و کف از نوع فولاد ضدزنگ می‌باشد. به جهت ساختار ویژه‌ی نهر پایه دار مورد استفاده، که جهت آزمایشهای مربوط با بده‌های بالا ساخته شده است، در ابتدا به جهت آرام ساختن جریان و مهار کردن نوسانهای سطح آب هنگام قرائت بار آبی روی سرریز، از سامانه‌ی شبکه لوله‌های موازی همراه با دو توری فلزی که در انتهای آن نصب شده بود، استفاده شد که به نحو بسیار مطلوبی شرایط را برای شروع آزمایشها فراهم می‌آورد. نمونه‌ها 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 آب بندی از سیلیکون آنتیا استفاده شد. این چسب سیلیکون امکان تسریع در فرایند 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 یاب نقطه‌ای مستقر روی نهر پایه دار بهره‌وری گردید. به جهت حساسیت در میزان جریان، بده به وسیله‌ی یک بده سنج عددی و یک



۱- نامگذاری معیار نوع A سرریزهای کلیدپیانویی (۱۱). کلیدپیانویی انجام داده است. او با بررسی نیمرخهای سرعت، فشار و سطح آب، و همچنین عدد فرود، و ساختن نمونه‌های آزمایشگاهی، که همگی به صورت غیر متقارن جهت تعمیم مشخصات بر کل سرریز بودند، نهایتاً به معادلاتی جهت برآورد بده‌های کلید ورودی، خروجی، و تاج جانبی دست یافت. پیچیدگی جریان در مورد سرریزهای کلیدپیانویی و نیز فراسنجهای تاثیرگذار هندسی زیاد آنها، آزمایش را در مورد نمونه‌های فیزیکی حتماً احتیاج خواهد داشت [۳، ۶ و ۱۱].

مواد و روشها:

تحلیل ابعادی:

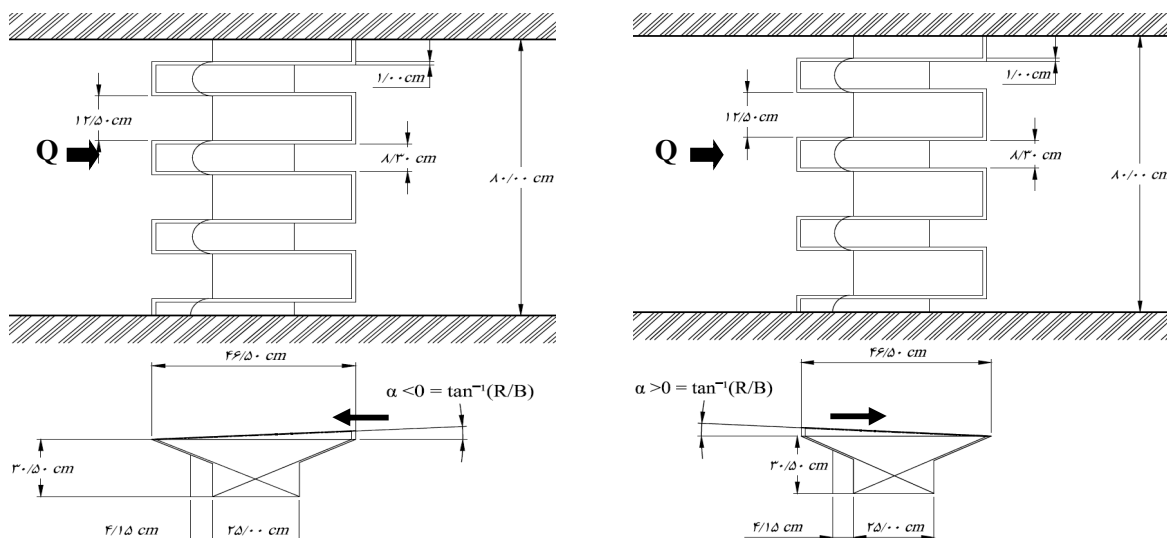
بررسی فراسنجهای تأثیرگذار بر بده‌ی خروجی از سرریزهای کلیدپیانویی با دیواره‌های سپری شیبدار نشان می‌دهد که می‌توان با روش تحلیل ابعادی فراسنجهای بی بعد موثر بر ضریب تخلیه‌ی جریان را به صورت معادله‌ی ۱ تقسیم‌بندی کرد:

$$C_{da} = f \left(We, Re, \frac{W_i}{W_o}, \frac{L}{W}, \frac{P_{av}}{Wu}, \frac{R}{P}, \frac{H}{P}, \frac{B_i}{B_o}, \frac{H}{L_{wu}}, \frac{R}{B} \right) \quad (1)$$

از آن جا که در بارهای آبی پایین تیغه‌های جانبی جریان با تاج جانبی در تماسند، لذا کشش سطحی، و در نتیجه عدد وبر، بر ضریب تخلیه تأثیرگذار خواهند بود. در تحقیق حاضر شرایط جریان چنان در نظر گرفته شد که اثر این فراسنج حذف شود. مقادیر بالای عدد رینولدز، تأثیر ناچیز لزجت را بر جریان نشان می‌دهد. همچنین طبق مطالعات انجام گرفته به وسیله‌ی میشلز (۲۰۱۲) نسبت‌های $\frac{B_i}{B_o}$ و $\frac{W_i}{W_o}$ نیز دارای مقادیر بهینه‌ی اقتصادی و هیدرولیکی می‌باشند. مقادیر بهینه‌ی اقتصادی و هیدرولیکی مطالعه شده، و همچنین به کار گرفته شده در پژوهش حاضر در جدول ۱ آورده شده اند. با توجه به

۱- مقادیر بهینه‌ی هیدرولیکی و اقتصادی فراسنجهای مهم سرریز کلیدپیانویی.

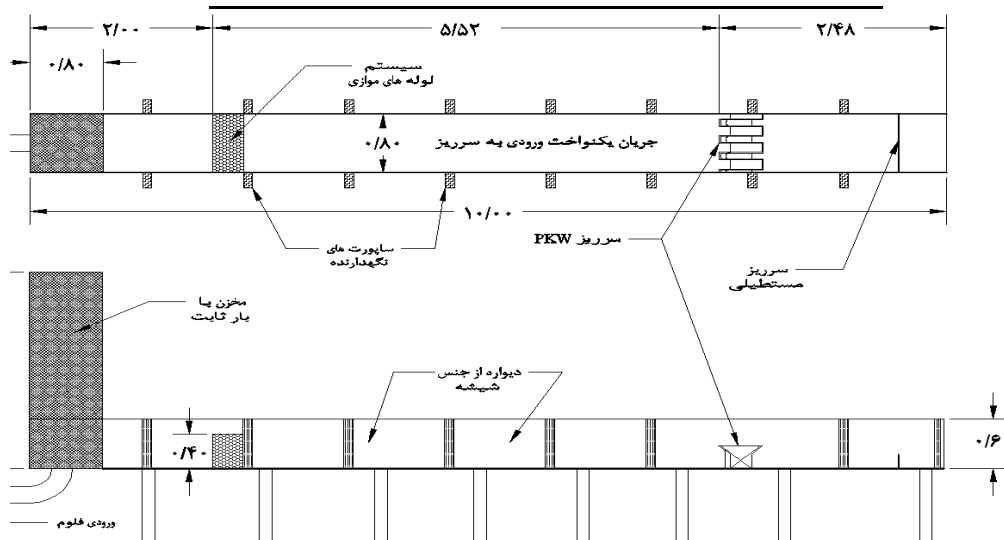
پژوهش حاضر	بهینه‌ی هیدرولیکی	بهینه‌ی اقتصادی	فراسنج
هر دو	۱/۳۳	۰/۵۰	P/W_u
۱/۵۰	۱/۲۵۴	۱/۵۰	W_i/W_o
۱/۰۰	۰/۳۳۳	۱/۰۰	B_i/B_o



۲- برش عرضی و مقطع طولی نمونه‌های دیواره‌های سپری شیب‌دار (نمونه ۱).

۲- فراسنجهای L_{wu} برای زوایای مختلف دیواره‌های سپری.

L_{wu}	H/R	زاویه‌ی دیواره‌های سپری
$L_{wu} = 2L_w + W_i$	$1 <$	مثبت
$L_{wu} = 2L_w + W_i + W_o$	$1 >$	
$L_{wu} = 2L_w + W_o$	$1 <$	منفی
$L_{wu} = 2L_w + W_i + W_o$	$1 >$	



۳- برش عرضی و نیمرخ طولی فلوم آزمایشگاهی و محل قرارگیری سرریز PKW.

آزمایش) در نظر گرفته شد. برای به دست آوردن طول تاج جانبی، که در تخلیه‌ی جریان شرکت دارد، برای زمانی که سرریز کاملاً مستغرق نشده است ($H < R$)، ابتدا طول تاج جانبی که خشک است به دست آمده، سپس از طول کل تاج جانبی کسر می‌شود. شکل (۴-الف) نمایی از پایین دست نمونه‌های سرریز کلیدپیانویی با دیواره‌های سپری شیب‌دار را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث:

شکل ۵ منحنی بده-بارآبی آب و بده-تراز سطح آب را برای نمونه‌ی شاهد و دیواره‌های سپری بدون شیب نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، بودن و نبودن دیواره‌های سپری برای نمونه‌ی ۱، با نسبت $\frac{P}{W_u} = 1/33$ ، تأثیر چشمگیری بر بده‌ی عبوری از سرریز نداشته، و لذا می‌توان از دیواره‌های سپری با توانایی تغییر ارتفاع به نحو مطلوبی جهت افزایش و یا کاهش تراز آبی استفاده کرد (شکل ۵-الف و ب)؛ اما در نمونه‌ی ۲، با نسبت $\frac{P}{W_u} = 0/50$ ، با افزایش ارتفاع دیواره‌های سپری، به ازای بارآبی یکسان (نسبت به نمونه‌ی شاهد) بده‌ی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد؛ لذا، ملاحظه‌ی ایمن نکته ضروری است.

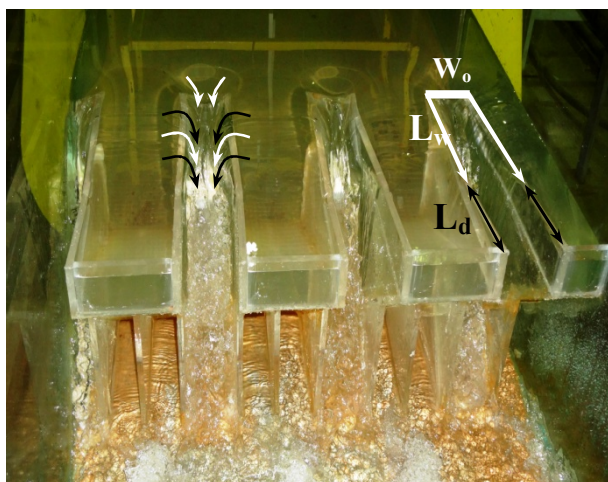
سرریز مستطیلی به عرض ۱ متر، مستقر در انتهای نهر پایه دار خوانده و مقایسه و تنظیم می‌شود. همچنین، تمام نمونه‌های سرریز کلیدپیانویی، با معیار نوع A ساخته شدند. شکل ۳ برش عرضی و مقطع نهر پایه دار مورد استفاده را نشان می‌دهد (ابعاد بر حسب متر می‌باشند). جدول ۲ فراسنج L_{wu} را برای زوایای مثبت و منفی (در حالت $H < R$ و $H > R$) نشان می‌دهد. در معادله‌های ۱ و ۲، فراسنج P_{av} برابر با $P + \frac{R}{2}$ می‌باشد. جدول ۳ بعضی از ابعاد و نسبت‌های مهم سرریزهای کلیدپیانویی و منحنی پیوند، و جدول ۴ بخشی از داده‌های آزمایشگاهی مربوط به نمونه‌ی ۱ با زاویه ۵/۵ درجه‌ی مثبت و ۵/۵ درجه‌ی منفی را نشان می‌دهد. در جدول ۴، L_d ، نشان‌دهنده‌ی طولی از سرریز است که در تخلیه شرکت نداشته، و L_w ، طول موثر سرریز را معرفی می‌نماید (شکل ۴). در راستای دستیابی و نیل به اهداف یاد شده، ابتدا منحنی بده - تراز سطح آب برای تمامی نمونه‌ها برداشت گردید، سپس با استفاده از Excel و Spss بهترین رابطه برآزش داد شد. جهت افزایش دقت سعی گردید که برای هر نمونه تعداد آزمایشها به حدی باشند که خطای ناشی از این روش را به حداقل برسانند، به همین جهت، در کل حدود ۶۰۰ آزمایش (بطور میانگین برای هر نمونه ۳۰

۳- برخی از ابعاد سرریز کلیدپیانویی.

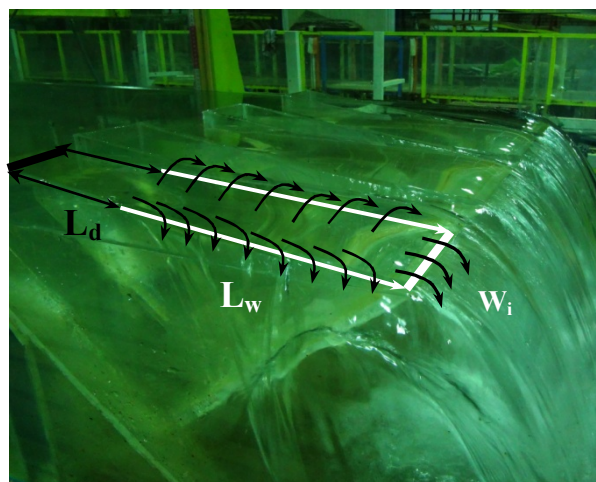
P/W	W (cm)	P (cm)	$\alpha = \tan^{-1}(R/B)$	W_i/W_o	P/W_u	نمونه سرریز
-	۸۰/۰۰	۳۰/۵۰	8° و $5/5^\circ$ ، 3°	۱/۵۰	۱/۳۳	کلیدپیانویی
	۸۰/۰۰	۱۱/۱۰	8° و $5/5^\circ$ ، 3°	۱/۵۰	۰/۵۰	

۴- بخشی از داده‌های آزمایشگاهی.

منفی ۵/۵ درجه ($P/W_u = 1/33$)				مثبت ۵/۵ درجه ($P/W_u = 1/33$)			
L_w (cm)	L_d (cm)	بده (m^3/s)	بارآبی (m)	L_w (cm)	L_d (cm)	بده (m^3/s)	بارآبی (m)
۱۲۸/۷۵	۲۷۱/۲۵	۰/۰۰۱۸	۰/۰۱۹	۱۲۹/۱۵	۲۷۰/۵۵	۰/۰۰۲۵	۰/۰۱۶
۱۹۵/۲۵	۲۰۴/۷۵	۰/۰۰۶۸	۰/۰۲۷	۲۰۰/۵۵	۱۹۹/۱۵	۰/۰۰۷۶	۰/۰۲۶
۲۰۹/۲۵	۱۹۰/۷۵	۰/۰۰۸۵	۰/۰۲۹	۲۳۳/۶۵	۱۷۶/۰۵	۰/۰۰۹۹	۰/۰۳۰
۲۵۴/۷۵	۱۴۵/۲۵	۰/۰۱۴۵	۰/۰۳۵	۲۵۸/۶۵	۱۴۱/۰۵	۰/۰۱۴۵	۰/۰۳۶
۲۸۲/۷۵	۱۱۷/۲۵	۰/۰۱۷۴	۰/۰۳۸	۲۷۹/۶۵	۱۲۰/۰۵	۰/۰۱۸	۰/۰۳۹
۲۹۶/۷۵	۱۰۳/۲۵	۰/۰۲۱۰	۰/۰۴۱	۳۰۷/۶۵	۹۲/۰۵	۰/۰۲۱۶	۰/۰۴۱
۳۲۴/۷۵	۷۵/۲۵	۰/۰۲۴۲	۰/۰۴۳	۳۲۶/۵۵	۷۳/۱۵	۰/۰۲۵۵	۰/۰۴۳
۳۲۵/۲۵	۶۴/۷۵	۰/۰۲۶۲	۰/۰۴۴	۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۲۸۲	۰/۰۴۹
۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۲۹۶	۰/۰۴۸	۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۳۱۸	۰/۰۵۲
۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۳۳۲	۰/۰۵۳	۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۴۲۴	۰/۰۶۰
۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۳۸۵	۰/۰۵۵	۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۴۸۱	۰/۰۶۴
۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۴۰۸	۰/۰۵۷	۳۹۹/۷۰	۰/۰	۰/۰۵۳۳	۰/۰۶۸

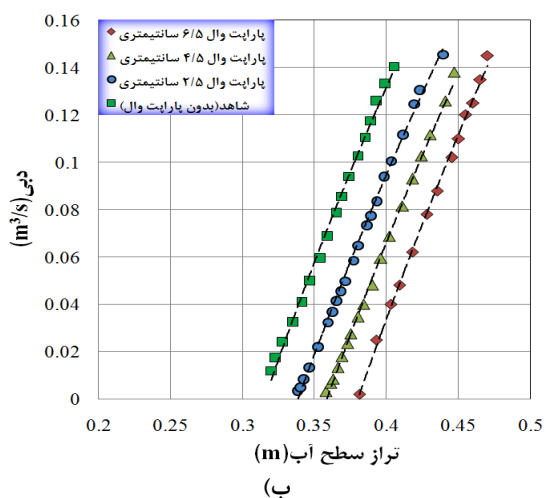


(ب)

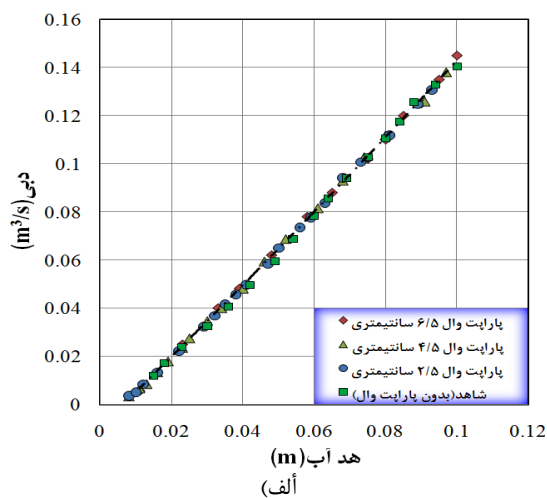


(الف)

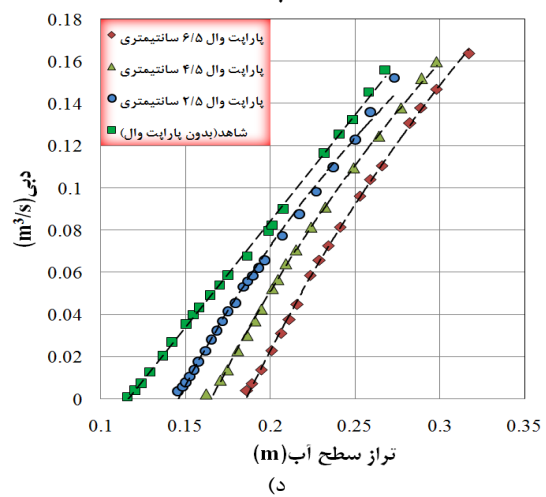
۴- سرریزهای کلیدپیانویی با دیواره های سپری شیب دار (الف- مثبت ۸ درجه و ب- منفی ۸ درجه) ($P/W_u=1/33$).



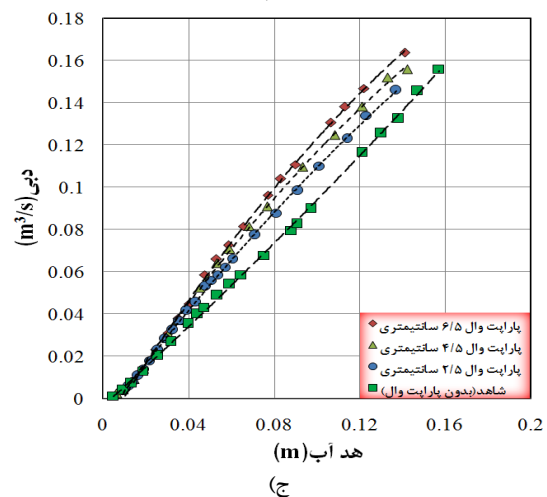
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

۵- بررسی منحنیهای بده-تراز سطح آب و بده-بار آبی آب (الف و ب $P/W_u=1/33$ مدل ۱)، ج و د $P/W_u=0/50$ (نمونه ۲).

۵- بیشینه‌ی مقدار Cd برای تمام نمونه‌های سرریز کلیدپیانویی (شاهد و دیواره‌های سپری بدون شیب).

ارتفاع				ارتفاع			
C _d	H _t /P	دیواره‌های سپری	نوع مدل	C _d	H _t /P	دیواره سپری	نوع نمونه
۰/۴۱	۰/۱۷	-	شاهد	۰/۶۰	۰/۰۶	-	شاهد
۰/۴۶	۰/۱۵	۶/۵ cm	دیواره‌های سپری	۰/۶۰	۰/۰۶۲	۶/۵ cm	دیواره‌های سپری
۰/۴۵	۰/۱۷	۴/۵ cm	بدون شیب	۰/۶۰	۰/۰۶۵	۴/۵ cm	بدون شیب
۰/۴۴	۰/۱۶	۲/۵ cm	شیب	۰/۶۰	۰/۰۶۵	۲/۵ cm	شیب

۶- ضرایب a, b و R² منحنی سنج، برای سرریز کلیدپیانویی با دیواره‌های سپری شیب‌دار.

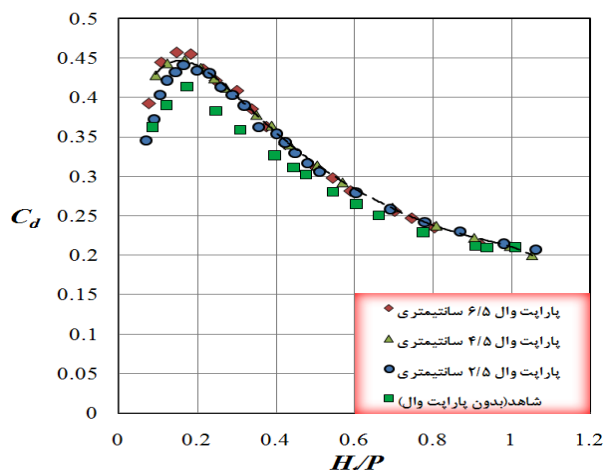
R ²	b	a	دیواره‌های سپری	نوع نمونه	P/W _u	نسبت P/W _u	R ²	b	a	دیواره‌های سپری	نوع نمونه	P/W _u	نسبت P/W _u
۰/۹۹۷	۱/۰۹۲	۱/۱۵۸	-	شاهد	۰/۹۹۸	۰/۱۰۳	۱/۱۸۷۴	-	شاهد	۰/۹۹۷	۱/۷۹۴	۴/۹۴۴	۸°
۰/۹۹۶	۱/۹۴۵	۵/۰۱۰	۸°	مثبت	۰/۹۹۸	۱/۶۸۰	۴/۶۹۹	۵/۵°	مثبت	۰/۹۹۶	۳/۵۶۶	۱/۴۶۵	۳°
۰/۹۹۰	۱/۶۳۵	۳/۰۸۷	۵/۵°	مثبت	۰/۹۹۵	۵/۶۰۷	۱/۸۲۱	۸°	مثبت	۰/۹۹۰	۳/۹۱۷	۱/۵۸۹	۵/۵°
۰/۹۹۲	۱/۳۹۱	۲/۰۴۷	۳°	مثبت	۰/۹۹۴	۳/۲۱۶	۱/۴۱۲	۳°	مثبت	۰/۹۸۵	۱/۳۰۳	۱/۷۱۲	۳°
۰/۹۹۲	۱/۹۵۶	۵/۲۲۴	۸°	مثبت	۰/۹۸۷	۱/۶۱۹	۳/۰۰۹	۵/۵°	منفی	۰/۹۸۵	۱/۳۰۳	۱/۷۱۲	۳°
۰/۹۸۷	۱/۶۱۹	۳/۰۰۹	۵/۵°	منفی	۰/۹۸۵	۱/۳۰۳	۱/۷۱۲	۳°	منفی	۰/۹۸۵	۱/۳۰۳	۱/۷۱۲	۳°
۰/۹۸۵	۱/۳۰۳	۱/۷۱۲	۳°	منفی	۰/۹۸۵	۱/۳۰۳	۱/۷۱۲	۳°	منفی	۰/۹۸۵	۱/۳۰۳	۱/۷۱۲	۳°

یافته، و بازدهی آن به سمت سرریز لبه پهن گرایش یابد. همچنین، وجود دیواره‌های سپری باعث کاهش استغراق در نزدیکی کلید خروجی و نیز کاهش سرعت جریان خروجی از تاج جانبی می‌شود به نظر می‌رسد که در نمونه‌ی شماره ۱ سرعت جریان در نمونه‌ی شاهد آن با حالت وجود دیواره‌های سپری، آن چنان تفاوتی ندارد و بهمین جهت است که در این نمونه، بودن یا نبودن دیواره‌های سپری تاثیری بر ضریب تخلیه‌ی جریان نمی‌گذارد. جدول ۵ مقادیر بیشینه‌ی C_d را در مقابل نسبت $\frac{H_t}{P}$ برای تمامی نمونه‌های شاهد و دیواره‌های سپری بدون شیب نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۵، بیشترین مقدار ضریب بده مربوط به مدل ۱، $(\frac{P}{W_u} = 1/33)$ ، و برای $\frac{H_t}{P} = 0/06$ ، و کمترین مقدار آن مربوط به نمونه‌ی ۲ $(\frac{P}{W_u} = 0/50)$ (بدون دیواره‌ی سپری)، و برای نسبت $\frac{H_t}{P} = 0/06$ می‌باشد. این مقادیر به ترتیب برابر با ۰/۶۰ و ۰/۴۱ نیز برآورد شده‌اند. همان طور که در بندهای قبل نیز اشاره شد دیواره‌های سپری زاویه‌دار به منظور ایجاد تراز آبی بالا (برای سرریزهای کلیدپیانویی با ارتفاع کم)، و نیز در صورت کاهش بده، برای حفظ تراز آبی (با مسدود کردن قسمتی از تاج

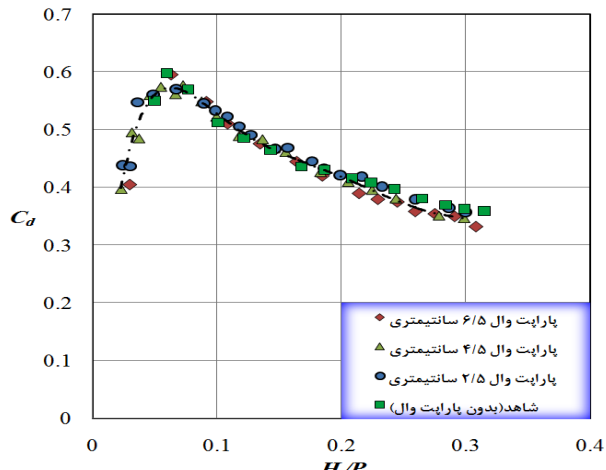
که در این نسبت $(\frac{P}{W_u} = 1/33)$ ، در صورت افزایش تراز آبی (با افزایش ارتفاع سرریز به واسطه‌ی وجود دیواره‌های سپری)، بده‌ی عبوری از سرریز افزایش خواهد یافت (شکل ۵- ج و د). به دلیل پیچیدگی الگوی جریان در سرریزهای کنگره‌ای، بویژه کلیدپیانویی، از معادله‌ی عمومی سرریزها (معادله‌ی ۳) برای به دست آوردن ضریب تخلیه‌ی جریان استفاده می‌شود:

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} L H_t^{1.5} \quad (3)$$

در معادله‌ی ۳، Q، بده‌ی جریان، L، طول تاج سرریز، $[n(W_i+W_o+2B)]$ ، g، شتاب گرانش، H_t، بار آبی روی سرریز (به علاوه‌ی بار آبی)، n، تعداد دوره، W_i، عرض کلید ورودی، W_o، عرض کلید خروجی و B، طول تاج جانبی سرریز می‌باشند. ضرایب C_d به دست آمده از معادله‌ی ۳ برای تمام نمونه‌های شاهد و دیواره‌های سپری بدون شیب نسبت به فراسنج $\frac{H_t}{P}$ در شکل ۶ نشان داده شده‌اند. مطابق با شکل ۶، ضریب بده‌ی جریان ابتدا با افزایش نسبت $\frac{H_t}{P}$ روندی صعودی داشته، سپس در یک نسبت $\frac{H_t}{P}$ ، به بیشترین مقدار خود رسیده، و در انتها نیز به دلیل تداخل تیغه‌های جریان، کاهش

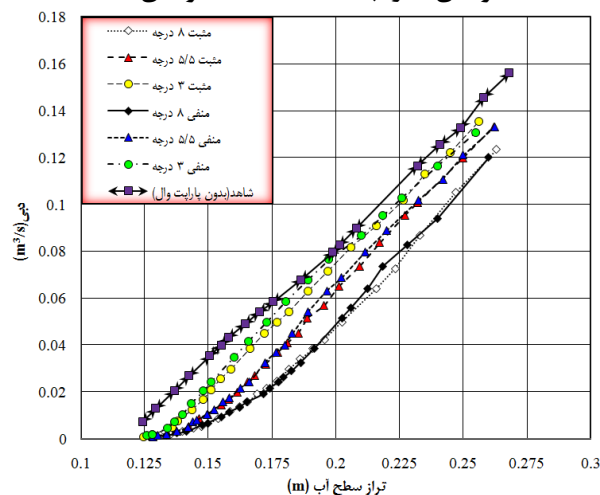


(ب)

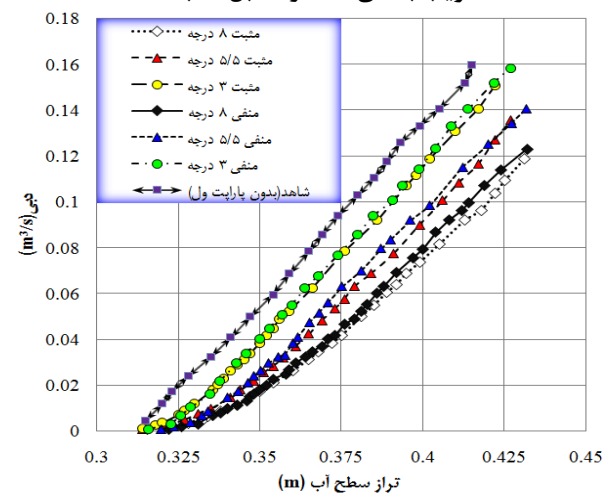


(ألف)

۶- ضریب بدهی Cd در مقابل نسبت H_t/P ، (الف- $P/Wu=1/33$ (نمونه ی ۱) و ب- $P/Wu=0/50$ (نمونه ی ۲)).



(ب)



(ألف)

۷- منحنیهای بدهی - مقیاس سطح آب برای سرریز کلیدپیانویی با دیواره های سپری زاویه دار (الف- $P/Wu=1/33$ (نمونه ی ۱) و ب- $P/Wu=0/50$ (نمونه ی ۲)).

سپری، نسبت به شیب مثبت، بدهی بیشتری را عبور می دهد. اگرچه در نمونه دیواره های سپری شیب دار مثبت، طول تاجی از سرریز که در تخلیه ی جریان شرکت می کند، به ازای بارآبی یکسان (تا زمانی که سرریز کاملاً مستغرق نشده است) بیشتر از دیواره های سپری دارای شیب منفی است، و انتظار می رود که به ازای بارآبی یکسان مدل دیواره های سپری دارای شیب مثبت بدهی بیشتری را عبور دهند، اما مشاهدات نشان می دهد که به دو دلیل این اتفاق رخ نداده، و نمونه ی دیواره های سپری دارای شیب منفی، راندمان بالاتری را البته قبل از استغراق کامل سرریز، دارد.

(۱) از آن جا که در نمونه ی دیواره های سپری با شیب منفی، کلیدهای ورودی (که دارای عرض بیشتری نسبت به کلیدهای خروجی می باشند) متناسب با شیب

جانبی) می توان بهره جست. شکل ۷ منحنی های بدهی - تراز سطح آب را برای هر دو نمونه، و برای تمامی زوایای بررسی شده، نشان می دهد. جدول ۶ نیز ضرایب روابط بدهی - مقیاس را که بر مبنای رابطه ی کلی منحنیهای سنجه (معادله ی ۲)، با کاربرد نرم افزار آماری SPSS به دست آمده اند به همراه R^2 آنها نشان می دهد. در رابطه ی ۲، H بار آبی روی سرریز بر حسب متر و Q بدهی جریان بر حسب متر مکعب بر ثانیه می باشند. از جدول ۶، جهت نیل به بندهای ۳ و ۴ پژوهش استفاده خواهد شد.

شکل ۷ نمودار دبی - تراز سطح آب را برای مدل های شاهد و دیواره های سپری شیب دار نشان می دهد. همان طور که از شکل ۷ مشخص است در هر دو نمونه، در محدوده ی مشخصی از تراز سطح آب، به ازای یک بارآبی ثابت، سرریز کلیدپیانویی با شیب منفی دیواره های

نهرهای آبیاری و زهکشی عمل کرد. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که از کدام شیب دیواره‌های سپری، و در صورت کاهش چند درصد از بده ی جریان، می‌توان همان تراز آبی نمونه ی شاهد را ایجاد کرد. محور y ها بیانگر درصد کاهش بده ی جریان است. بطور مثال در نسبت $\frac{H_1}{P} = 0.20$ در صورت کاهش ۳۰، ۴۰ و ۶۰ درصدی بده ی جریان، با ایجاد زوایای مثبت ۳/۵، ۵/۵ و ۸/۰ درجه می‌توان تراز آبی قبلی (نمونه ی شاهد) را مجدداً ایجاد کرد.

ضریب بده ی سرریز کلیدپیانویی با دیواره‌های سپری شیب‌دار:

به دلیل پیچیدگی الگوی جریان در سرریزهای کنگره ای، بویژه کلیدپیانویی، از معادله‌ی عمومی سرریزها (معادله‌ی ۱) برای به دست‌آوردن ضریب تخلیه‌ی جریان استفاده می‌شود. اما از آن جا که در نمونه های دیواره‌های سپری شیب‌دار، طول مؤثر سرریز (L) با افزایش بار آبی تغییر می‌کند، لذا معادله‌ی عمومی سرریزها جهت استفاده برای این نوع سرریز مناسب نبوده و باید اصلاحاتی در آن صورت گیرد؛ بهمین جهت در معادله‌ی ۱ به جای استفاده از فراسنج L (که با افزایش هد آب تغییر می‌کند)، از عرض محل احداث سرریز، W (عرض نهر پایه دار) استفاده شد و آثار افزایش L با افزایش بار آبی، در ضریب تخلیه‌ی جریان (C_{da}) منظور می‌گردد. همان طور که در بندهای قبلی نیز اشاره شد، می‌توان ضریب تخلیه‌ی جریان را به صورت تابعی از فراسنجهای بی‌بعد، همانند معادله‌ی ۲، بیان کرد. پس از بررسی رابطه‌ی ضریب تخلیه‌ی جریان با فراسنجهای بی‌بعد معادله‌ی ۲، با استفاده از نرم‌افزار Excel و آماری SPSS، روابطی جهت تعیین ضریب تخلیه‌ی جریان به دست آمد. جهت تعیین بهترین رابطه، علاوه بر وازیای R^2 ، از تابع خطای NRMSE، مطابق با معادله ی ۵ استفاده شد:

پس از تجزیه و تحلیل روابط به دست‌آمده به کمک نرم افزار SPSS، در نهایت رابطه‌ی ۶ به عنوان بهترین رابطه معرفی شد، زیرا علاوه بر R^2 نزدیک به ۱، کمترین میزان خطا را در حدود $\pm 11\%$ داراست (شکل ۱۰).
مقادیر R^2 و NRMSE برای رابطه‌ی ۶ به ترتیب برابر با ۰/۹۷۷، ۰/۱۴۷ به دست آمدند. مقادیر NRMSE

مربوطه بسته شده‌اند، و تاج جانبی در خلاف جهت جریان شیب‌دار شده است، لذا خطوط جریان با تغییر جهت کاملاً ۹۰ درجه از تاج جانبی خارج می‌شوند، که این اتفاق در نمونه ی دیواره‌های سپری با شیب مثبت رخ نمی‌دهد.

۲) تغییر ۹۰ درجه‌ی خطوط جریان باعث می‌شود که تیغه‌ی جانبی هنگام عبور از تاج سرریز در نزدیکی کلید خروجی از زیر تیغه‌ی کلید خروجی عبور کند، و این اتفاق عملاً باعث می‌شود طول موثری از سرریز، که تا قبل از استغراق کامل در تخلیه‌ی جریان شرکت دارد، در نمونه ی دیواره‌های سپری با شیب منفی بیشتر از دیواره‌های سپری با شیب مثبت باشد. شکل ۸ این دو اتفاق را نشان می‌دهد. شکل ۹ نسبت تراز سطح آب را در نمونه های دیواره‌های سپری شیب‌دار (T_a) نسبت به نمونه ی شاهد (T_m)، در مقابل عدد فرود نمونه ی شاهد، Fr_m ، نشان می‌دهد. همان طور که در شکل ۹ مشخص است، بیشترین افزایش تراز آبی مربوط به نمونه ی ۲ برای دیواره‌های سپری مثبت ۸ درجه است. این عدد در حدود ۱/۶۲ می‌باشد. دلیل این اتفاق را در واقع می‌توان کاهش بازده ی تاج جانبی در تخلیه‌ی جریان عنوان کرد، زیرا هرچه زاویه‌ی دیواره‌های سپری بیشتر باشد استغراق تاج جانبی، و در نتیجه تأثیر آن بر تخلیه‌ی جریان، با تأخیر صورت خواهد گرفت. همچنی، می‌توان به این نکته اشاره داشت که افزایش سطح آب در بده ی یکسان، کاهش سرعت و در نتیجه کاشتعدد فرود جریان را در نمونه‌های شیب‌دار به دنبال خواهد داشت. جدول ۷، درصد افزایش تراز آبی نمونه‌های شیب‌دار را نسبت به نمونه شاهد نشان می‌دهد. مطابق با جدول ۷، بیشترین میزان افزایش سطح آب مربوط به زاویه‌ی مثبت ۸ درجه برای نمونه ی ۲، و در عدد فرود حدود ۰/۷۰، و کمترین میزان افزایش سطح آب مربوط به نمونه ی ۱ برای زاویه‌ی منفی ۳ درجه، و در عدد فرود حدود ۰/۱۰ می‌باشد. این میزان افزایش به ترتیب برای نمونه های ۲ و ۱ برابر با ۶۲ و ۴/۵ درصد می‌باشد.

حفظ تراز آبی با کاهش بده:

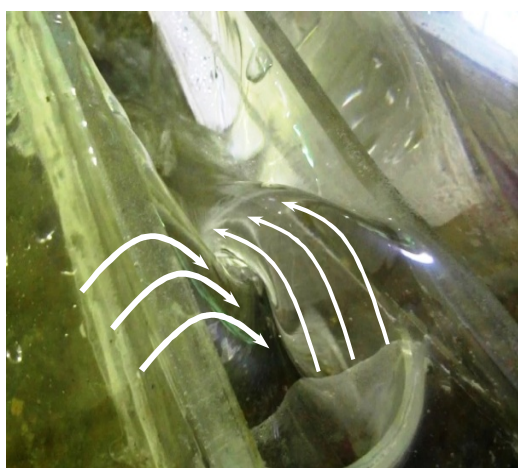
در صورت کاهش بده ی جریان، با ساختن دیواره‌های سپری با توانایی تغییر شیب می‌توان تراز آبی مورد نظر را مجدداً برقرار نمود. با استفاده از این روش می‌توان در راستای حفظ حداکثر ظرفیت آبیگری در

۸۰ درصد داده های آزمایشگاهی استفاده شد؛ سپس با ۲۰ درصد دیگر مورد آزمون قرار گرفت.

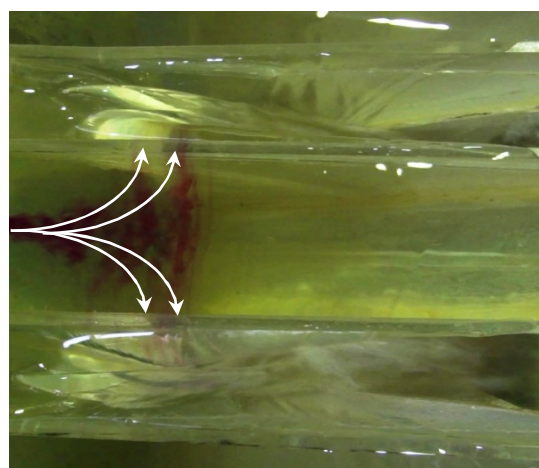
کمترباشند نشان دهنده ی نزدیکی بیشتر مقادیر به دست آمده از رابطه ی مورد نظر با مقدار واقعی می باشد. شایان ذکر است که برای به دست آوردن رابطه ی ۶ از

۷- درصد افزایش سطح آب در نمونه های کلیدپیانویی با دیواره های سپری شیب دار

Fr_m	$\Delta T/T_m$	دیواره های سپری	نسبت P/W_u	Fr_m	$\Delta T/T_m$	دیواره های سپری	نسبت P/W_u
۰/۶۸	٪۶۲	۸°		۰/۱۳	٪۱۲	۸°	
۰/۷۸	٪۵۶	۵/۵° مثبت		۰/۱۲	٪۸/۷	۵/۵° مثبت	
۰/۸۸	٪۵۵	۳°	۰/۵۰	۰/۱۱	٪۵	۳°	۱/۳۳
۰/۶۸	٪۶۱	۸°	(نمونه ۲)	۰/۱۳	٪۱۱	۸°	(نمونه ۱)
۰/۷۸	٪۵۶	۵/۵° منفی		۰/۱۲	٪۸	۵/۵° منفی	
۰/۹۱	٪۵۶	۳°		۰/۱۰	٪۴/۵	۳°	

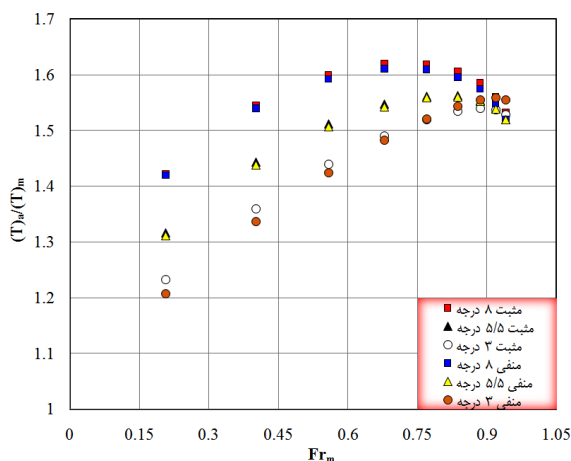


(ب)

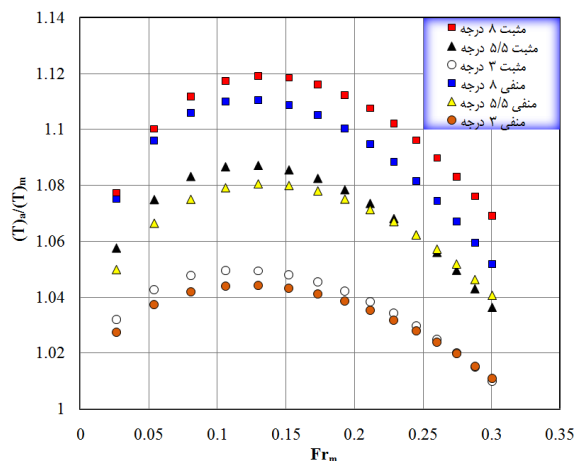


(الف)

۸- الف- تغییر ۹۰ درجه ی خطوط جریان و ب- عبور جت جانبی از زیر جت کلید خروجی.

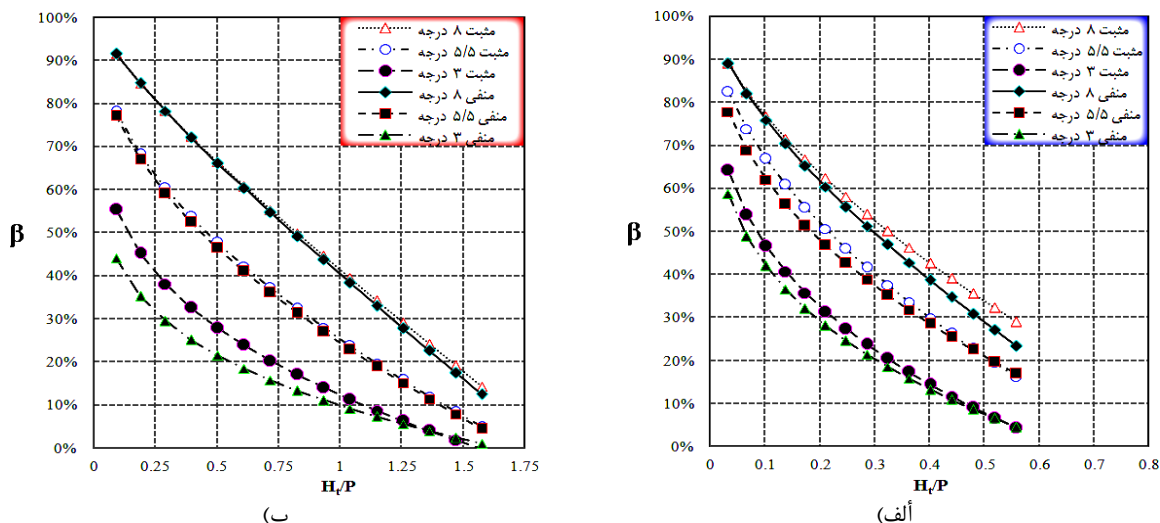


(ب)

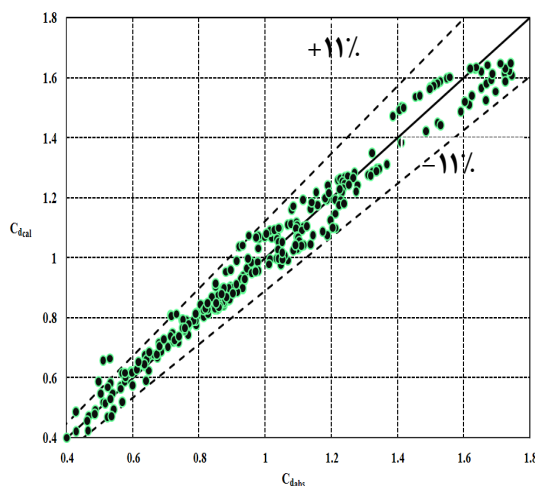


(الف)

۹- بررسی افزایش تراز آبی سرریز کلیدپیانویی با دیواره های سپری شیب دار (الف) $P/W_u=1/33$ (مدل ۱)، ب $P/W_u=0/50$ (مدل ۲).



۱۰- بررسی حفظ تراز آبی در مدل‌های شیب‌دار، در صورت کاهش دبی در مدل‌های شاهد (الف) $P/Wu=1/33$ (مدل ۱)، ب $P/Wu=0/50$ (مدل ۲).



۱۱- مقایسه‌ی داده‌های آزمایشگاهی (abs) و محاسباتی (cal) از رابطه‌ی ۷.

شیب‌دار مثبت (البته با ارتفاع کمتر) بهره جست. جهت کاربرد این نوع سرریز (کلید پیانویی با دیواره‌های سپری شیب‌دار) در سدهای انحرافی، این امکان وجود دارد که با مسدود کردن قسمتی از تاج سرریز بتوان سرریزی ساخت که با ارتفاع کمتر و در نتیجه مصالح کمتر، توانایی ایجاد همان تراز آبی را دارا باشد، و همچنین در موقع سیلابی قدرت تخلیه‌ی جریان‌ش نیز بیشتر از سرریز منحنی پیوند باشد.

منابع:

- 1) Anderson, R. M. and Tullis, B. P. 2011. Influence of piano key weir geometry on discharge. Proceeding of International Conference on Labyrinth and Piano Key Weirs, Liège B, 75-80. CRC Press, Boca Raton FL.
- 2) Anderson, R. M. and Tulli, B. P. 2012.

نتیجه‌گیری:

از مجموع توضیحات ذکر شده در بندهای قبل که حاصل مطالعات و نتایج آزمایشگاهی پژوهش حاضر می‌باشد (علاوه بر نتایج ذکر شده قبلی)، می‌توان اذعان داشت که تأثیر وجود دیواره‌های سپری با افزایش ارتفاع سرریز کاهش می‌یابد. با افزایش شیب دیواره‌های سپری، بمنظور حفظ تراز آبی، به نظر می‌رسد که اثر مثبت و یا منفی بودن آن قابل صرفه نظر کردن است. بازای بار آبی یکسان و ارتفاع یکسان (در مجموع تراز آب یکسان در بالادست سرریز)، در مجموع، سرریز کلیدپیانویی بدون دیواره‌های سپری بیشترین توان تخلیه را نسبت به سرریزهای کلیدپیانویی شیب‌دار و منحنی پیوند دارا می‌باشد. برای ایجاد تراز آبی یکسان در بده‌ی تقریبی برابر، می‌توان از سرریز کلیدپیانویی با دیواره‌های سپری

Conference on Labyrinth and Piano Key Weirs, Liège B, 17-24. CRC Press, Boca Raton FL.

10) Leite Ribeiro M., Pfister, M., Schleiss, A. J. and Boillat, J. L. 2012. Hydraulic design of A-type piano key weirs. *Journal of Hydraulic Research*, 50(4):400-408.

11) Leite Ribeiro, M, Pfister, M., Boillat, J. L., Schleiss, A. J. and Laugier, F. 2012. Piano key weirs as efficient spillway structure. *Proceeding of 24nd ICOLD Congress on Large Dams*. Kyoto, Japan, Q.94 – R.13.

12) Machiels, O. 2012. Experimental study of the hydraulic behavior of piano key weirs. PhD Thesis ULgetd, University of Liège (B).

13) Pralong J., Vermeulen, J., Blancher, B., Laugier, F., Erpicum, S., Machiels, O., Piroton, M., Boillat J. L., Leite Ribeiro, M. and Schleiss, A. J. 2011. A naming convention for the piano key weirs geometrical parameters. *Proceeding of International Conference on Labyrinth and Piano Key Weirs, Liège B*, 271-278. CRC Press, Boca Raton FL.

Comparison of piano key and rectangular labyrinth weir. *Journal of hydraulics Engineering*, 138(4): 358-361.

3) Barcouda, M., Cazaillet, O., Cochet, P., Jones, B. A., Lacroix, S., Laugier, F., Odeyer, C. and Vigny J. P. 2006. Cost effective increase in storage and safety of most dams using fuse gates or Piano Key weirs. *Proceeding of Transactions of the 22nd International Congress on Large Dams*, Vol. 22, No. 1, CIGB/ICOLD, Barcelona, Spain.

4) Cicero G. M., Menon, J. M., Luck, M. and Pinchard, T. 2011. Experimental study of side and scale effects on hydraulic performances of a Piano Key Weir. *Proceeding of International Conference on Labyrinth and piano key weirs Liège B*, 167–172, CRC Press, Boca Raton FL.

5) Hien, T. C., Son H. T. and Khanh, M. H. T. 2006. Results of some piano key weirs hydraulic model tests in Vietnam. *Proceeding of Transactions of the 22nd International Congress on Large Dams*, Vol. 22, No. 1, CIGB/ICOLD, Barcelona, Spain.

6) 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.

7) Lempérière, F. and Ouamane, A. 2003. The piano keys weir: a new cost-effective solution for spillways. *International Journal of Hydropower Dams*, 10(5): 144-149.

8) Laugier F., Lochu, A., Gille, C., Leite Ribeiro, M. and Boillat, J. L. 2009. Design and construction of a labyrinth PKW spillway at St-Marc Dam. *International Journal of Hydropower Dams*, 16(5): 100-107.

9) Lempérière F., Vigny, J. P. and Ouamane, A. 2011. General comments on labyrinth and piano key weirs: The past and present. *Proceeding of International*