



مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تراز پایاب بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای با پلان ذوزنقه‌ای

حنانه شفاعت طلب دهقانی، مهدی اسمعیلی ورکی* و افشین اشرفزاده**

* نگارنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده علوم کشاورزی، مجتمع دانشگاه گیلان، رشت، ایران. تلفن: ۰۱۳۲۲۶۹۰۲۷۴ (۰۱۳).

پایمانگار: esmaeili.varaki@yahoo.com

** به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استادیاران گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی، مجتمع دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۲؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۴

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای اغلب گزینه‌ای مطلوب برای تنظیم تراز سطح آب در کانال بالادست و افزایش دبی جریان هستند. این سازه‌ها به دلیل عملکرد هیدرولیکی و تطبیق پذیری هندسی‌شان، به عنوان تخلیه‌کننده و هوادهنده جریان، کاربرد وسیعی در کانال‌ها، رودخانه‌ها، استخرها و مخازن سدها دارند. با وجود این، طراحی بهینه آنها به علت ویژگی‌های پیچیده جریان و شمار زیادی از متغیرهای هندسی و هیدرولیکی، دشوار است. از جمله پارامترهای اثرگذار بر ضریب دبی جریان در سرریزها، وضعیت رسوب‌گذاری در بالادست و استغراق در پایین‌دست است که در نتیجه آن، عملکرد این سازه‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این پژوهش، با اجرای ۴۰۸ آزمایش، تأثیر افزایش ترازهای مختلف بستر پایاب (افزایش تراز بستر کانال پایین‌دست به یک سوم و دو سوم ارتفاع سرریز) بر تغییر ضریب دبی جریان در سرریز کنگره‌ای پلان ذوزنقه‌ای با هندسه‌های مختلف در شرایط بدون رسوب و تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز، به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که افزایش تراز بستر پایاب به یک سوم ارتفاع سرریز، تأثیری بر ضریب دبی جریان در سرریزهای مورد مطالعه ندارد اما با افزایش تراز بستر پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، به دلیل کاهش حجم توده هوای محبوس در زیر تیغه‌های ریزشی جریان و در نتیجه تغییر الگوی ریزشی جریان از حالت جهنده به چسبنده که افت هد جریان را در بالادست این سرریزها به دنبال دارد، ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای در شرایط بدون رسوب بین ۳/۳ تا ۱۲/۲ درصد و تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز در بالادست بین ۲/۱ تا ۹/۲ درصد نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق در دبی حداکثر افزایش می‌یابد. همچنین، برای برآورد ضریب دبی جریان سرریزهای کنگره‌ای پلان ذوزنقه‌ای در شرایط رسوب‌گذاری در بالادست و پایاب مستغرق معادله‌ای ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی

تراز بستر پایاب، رسوب‌گذاری، سازه کنترل، سرریز کنگره‌ای، ضریب دبی جریان

مقدمه

تغییر در دبی آبیاری و دشواری در مدیریت بهره‌برداری می‌انجامد. از این رو به منظور کنترل و تنظیم تراز سطح آب در شبکه‌های آبیاری از سازه‌های آب‌بند متنوعی نظیر دریچه‌های خودکار، کشویی و انواع سرریزها استفاده می‌شود.

یکی از مشکلات پیش روی شبکه‌های آبیاری، تغییر دبی کانال‌ها در دوره بهره‌برداری است که در نتیجه آن سطح آب در مقابل سازه‌های آبیگر کانال‌های فرعی، نسبت به حالت طراحی خود، دچار نوسان می‌شود. این امر به

سرریز پلان کنگره‌ای حدود ۲۵ درصد کمتر از مقدار برآورد شده نظیر آن از روش هی و تیلور است. علت اصلی تفاوت، احتساب ارتفاع سطح آب بالادست، به جای ارتفاع کل (مجموع ارتفاع سطح آب و ارتفاع نظیر سرعت)، گزارش شد.

یاسی و محمدی (Yasi & Mohammadi, 2007)، با اصلاح طرح هندسی پلان سرریز زیگزگی نوع مثلثی، دوزنقه‌ای و مستطیلی از طریق تغییر شکل دماغه سرریز به قوسی از دایره، با سه مدل سرریز با پلان قوسی نشان دادند که شکل قوسی دماغه سرریز منجر به افزایش کارایی هیدرولیکی می‌شود.

کارلو و همکاران (Carollo *et al.*, 2012)، با بررسی آزمایشگاهی متحنی‌های دبی-هد بالادست و فرآیند جریان‌های ریزشی از روی سرریزهای کنگره‌ای مثلثی با بزرگ‌نمایی‌های طول و جانمایی‌های مختلف دریافتند که بیشترین مزیت استفاده از سرریز W شکل، در مقابل سرریز خطی، در ارتفاع‌های آب کم و نسبت بزرگ‌نمایی طول زیاد به دست می‌آید. کرکستون و تولیس (Crookston & Tullis, 2013a, b)، با مقایسه عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای-دوزنقه‌ای با شکل‌های تاج ربع دایره‌ای و نیم‌دایره‌ای با زاویه‌های مختلف دیواره جانبی ($35^\circ < \alpha < 6^\circ$) و خطی دریافتند که در دامنه هد نسبی کل $H_T/P < 0.4$ ، افزایش در راندمان حاصل از شکل تاج نیم‌دایره‌ای (نسبت به تاج ربع دایره‌ای) چشمگیرتر است زیرا در مقادیر پایین هد نسبی کل، گردشگری تاج در وجه پایین دست سرریز به جریان کمک می‌کند که به دیواره پایین دست سرریز بچسبد که در نتیجه آن راندمان و ظرفیت تخلیه جریان افزایش می‌یابد. هنگامی که دبی و مومنت متناظر جریان عبوری از سرریز افزایش یابد، سفره‌های ریزشی هوادهی و خطوط جریان از تاج سرریز جدا می‌شوند و نیم‌رخ جریانی مشابه با تاج ربع دایره‌ای به وجود می‌آورند. این محققان همچنین با

با توجه به رابطه دبی و ارتفاع آب در سرریزها، یکی از راه‌های کاهش نوسان‌های سطح آب ناشی از تغییرات دبی در بالادست سرریزها، افزایش طول تاج سرریز است؛ یکی از راه‌های مؤثر و اقتصادی به منظور افزایش طول مؤثر تاج استفاده از سرریزهای کنگره‌ای است (Yasi & Mohammadi, 2007). سرریزهای کنگره‌ای که در پلان به صورت زیگزگی یا کنگره‌ای هستند سبب ایجاد طول مؤثر بیشتری به ازای یک عرض ثابت می‌شوند. طول کل این سرریزها معمولاً ۳ تا ۵ برابر بیش از عرض سرریز است. ظرفیت انتقال آنها با هد بالادست جریان تغییر می‌کند و معمولاً در هدهای نسبتاً پایین، ۲ برابر ظرفیت انتقال سرریزهای استاندارد با عرض مشابه را دارند (Tullis *et al.*, 1995). این سرریزها، در مقایسه با سرریزهای خطی و اوجی استاندارد، مزیت‌های ویژه‌ای دارند از جمله: تنظیم و کنترل حجم آب در کانال‌های باز و پشت سدها، به عنوان سازه‌های حفاظتی کمک به تخلیه جریان مازاد از کانال‌های باز و سازه‌های اضطراری جهت خروج سیلاب‌های اضافه بر ظرفیت سدها و کانال‌ها، هوادهی جریان و افزایش راندمان استهلاک انرژی در کانال‌ها و سدها، ذخیره آب در پشت سدها، و کاهش ارتفاع آزاد سدها در مقایسه با سرریزهای خطی (Crookston & Tullis, 2013a).

اولین مطالعات در خصوص ضوابط طراحی و کارکرد هیدرولیکی سرریزهای پلان کنگره‌ای را تیلور (Taylor, 1968) و هی و تیلور (Hay & Taylor, 1970) روی مدل‌های با پلان هندسی مثلثی، مستطیلی و دوزنقه‌ای با شکل تاج لبه‌تیز انجام دادند.

لاکس و هینچلیف (Lux & Hinchliff, 1985) و لاکس (Lux, 1993) با توسعه اطلاعات تجربی، رابطه ضریب دبی جریان عبوری از سرریزهای با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای را اصلاح کردند. نتایج بررسی‌های این پژوهشگران نشان داد که میزان واقعی جریان عبوری از

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تراز پایاب بر ضریب دبی...

آب در پایاب؛ و H_T ، ارتفاع کل آب مؤثر روی تاج سرریز است) (Khatsuria, 2005). تولیس و همکاران (Tullis et al., 2007)، با بررسی داده‌های آزمایشگاهی دبی-هد حاصل از سه هندسه مختلف از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای و سرریز خطی لبه‌تیز، به روابطی جهت پیش‌بینی وقوع استغراق در این سرریزها دست یافتند و به این نتیجه رسیدند که نسبت هدهای مستغرق جریان در بالادست به پایین دست وقتی بزرگتر از ۰/۵ یا برابر با یک باشد، تأثیر قابل توجهی بر هد بالادست ندارند.

یکی از مشکلات در بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری، رسوب‌گذاری در طول کانال‌ها و در مجاورت سازه‌های موجود در شبکه است که عملکرد هیدرولیکی آنها را تغییر خواهد داد. دیزجی و محمودخانی (Dizadji & Mahmoudkhani, 2009)، با بررسی تأثیر رسوب بر ضریب دبی جریان در سرریزهای مثلثی، مستطیلی، اوجی و روگذر در کانال باز پی بردند که در مقایسه با آب زلال، رسوب‌های معلق سبب کاهش ضریب تخلیه می‌شوند. این اثر روی ضریب دبی سرریز، در دبی‌ها و شیب کف کمتر، نمایان‌تر است و مستقل از نوع سرریز به کار گرفته شده خواهد بود. دستورانی و نصرآبادی (Dastorani & Nasrabadi, 2012)، با بررسی اثر ته‌نشینی مواد رسوبی در پشت سرریز اوجی بر شرایط جریان نشان دادند که با افزایش رسوب پشت سرریز، ضریب دبی سرریز از ۲/۲۵ (در شرایط بدون رسوب) به ۱/۶۹ (در حالت پر بودن مخزن) کاهش می‌یابد.

به جهت آنکه وجود شرایط هیدرولیکی مختلف در بالادست و پایین دست (رسوب‌گذاری در بالادست و افزایش تراز بستر کانال پایین دست سرریز) سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای سبب تغییر در عملکرد هیدرولیکی این سرریزها می‌گردد، هدف از تحقیق حاضر بررسی اثر افزایش تراز بستر کانال پایین دست بر ضریب دبی جریان

بررسی تأثیر هوادهی مصنوعی (شکافنده‌های سفره ریزی جریان یا لوله‌های هوادهی) بر ظرفیت تخلیه سرریزهای کنگره‌ای مذکور پی بردند که تأثیر آنها بر ظرفیت تخلیه این سرریزها نسبت به شرایط هوادهی نشده ناچیز (۱/۷-۰/۵ درصد) و قابل چشم‌پوشی است.

سیویچ و همکاران (Savage et al., 2016) با مدلسازی عددی و فیزیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با زاویه دیواره جانبی ۱۵ درجه ($\alpha = 15^\circ$) در هدهای نسبی کل بزرگ ($H_T/P > 1$) به این نتیجه دست یافتند که مدل عددی می‌تواند دبی‌های مورد انتظار را با تقریب خوب تامین کند. اسمعیلی ورکی و صفررضویزاده (Esmaeili-Varaki & Safarrazavizadeh, 2013)، با بررسی عملکرد هیدرولیکی سرریزهای پلان نیم‌دایره‌ای با هندسه‌های خطی-نیم‌دایره و نیم‌دایره‌ای دریافتند که در کلیه هندسه‌های مورد بررسی، تا قبل از شروع استغراق موضعی که در محدوده $H_T/P > 0.35$ رخ می‌دهد، ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای با پلان نیم‌دایره‌ای منطبق بر سرریز خطی و سرریزهای با پلان نیم‌دایره-خطی اندکی کمتر از سرریز خطی است و نیز اینکه با افزایش عمق نسبی مؤثر جریان (H_T/P)، به دلیل تداخل بیشتر سفره‌های ریزی در سرریزهای پلان نیم‌دایره-خطی، مقدار کاهش دبی، نسبت به سرریزهای پلان نیم‌دایره‌ای، بیشتر است.

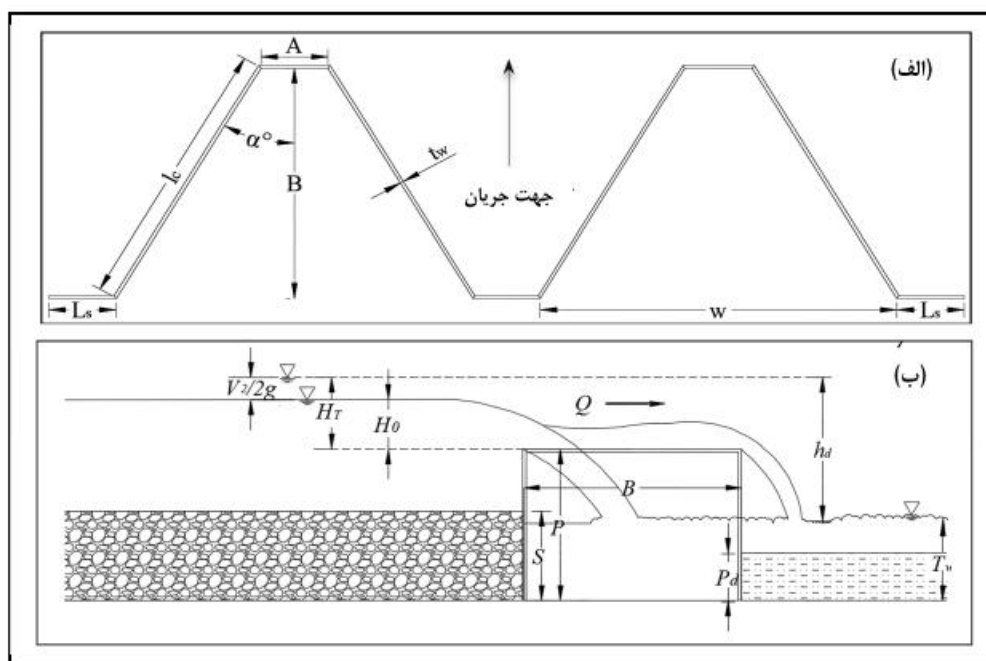
در طراحی سرریزها علاوه بر پارامترهای هندسی، عواملی دیگر مانند عمق پایاب بر ضریب دبی جریان سرریز تأثیر می‌گذارد. بررسی‌های دفتر فنی عمران ایالات متحده^۱ (USBR) در خصوص تأثیر پایاب بر ضریب دبی جریان در سرریزهای اوجی نشان می‌دهد اگر پارامتر $(h_a + d)/H_T$ از ۱/۷ بیشتر شود یا h_a/H_T بیش از ۰/۴ شود، تراز پایاب تأثیری بر ضریب دبی جریان آنها ندارد (در این پارامتر: h_a ، اختلاف انرژی آب بالادست و رقوم سطح آب در پایاب؛ d ، رقوم سطح

در سرریزهای کنگره‌ای پلان ذوزنقه‌ای برای شرایط مختلف رسوبی (بدون رسوب و تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز) است.

مواد و روش‌ها
تحلیل ابعادی

پارامترهای تأثیرگذار بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای عبارتند از: ارتفاع سرریز (P)، طول سیکل‌ها (B)، تعداد سیکل‌های در جهت جریان (N)، زاویه رأس سیکل‌ها (α)، عرض رأس سیکل‌ها (A)، عرض هر سیکل (w)، طول خط مرکزی دیواره جانبی سرریز (l_c)، طول خط مرکزی برای یک سیکل سرریز (شکل ۱).

(L_e)، طول مؤثر سرریز (L_e)، ضخامت دیواره (t_w)، شکل تاج (لبه تیز، مسطح، ربع‌دایره‌ای و نیم‌دایره‌ای، CS)، شکل ریزش تیغه آب (آزاد، تداخلی، هوادهی شده و هوادهی مستغرق، NA)، مکان قرارگیری سرریز (مخزن و کانال، WP)، هد کل بالادست ($H_0 = H_T + V^2/2g$)، تراز بستر پایاب (P_d)، اختلاف انرژی آب بالادست و رقوم سطح آب در پایاب (h_d)، ارتفاع رسوب‌گذاری در بالادست سرریزها (S)، عرض مجرا (W)، سرعت متوسط جریان در کانال (V)، عمق جریان در بالادست و پایین‌دست سرریز (y)، کشش سطحی سیال (σ)، شتاب ثقل (g)، جرم مخصوص سیال (ρ) و لزوجت دینامیکی سیال (μ) (شکل ۱).



شکل ۱ علامت اختصاری متغیرهای مؤثر بر ضریب دبی جریان سرریزهای کنگره‌ای پلان ذوزنقه‌ای
الف) نمای پلان و ب) نمای تمبرخ طولی در شرایط مختلف هیدرولیکی در بالادست و پایین‌دست این سرریزها

می‌توان دبی جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای را به صورت رابطه‌ی تابعی ۱ نوشت (Crookston, 2010):

$$Q = f_1(P, L_e, t_w, CS, NA, WP, h_d, P_d, H_T, S, W, V, y, \sigma, g, \rho, \mu) \quad (1)$$

با توجه به اینکه l_c ، L_{c-cyc} و L_e پارامترهای وابسته هستند، می‌توان آنها را بر اساس پارامترهای مستقل به صورت $l_c = (w - A) / 2 \sin \alpha$ ، $L_{c-cyc} = 2l_c + A$ ، $L_e = N(L_{c-cyc}) + 2L_s$ بیان کرد که در آن L_s ، فاصله دیواره‌های جانبی سرریز از دیواره‌های کانال است. بنابراین

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تراز پایاب بر ضریب دبی...

تمامی آزمایش‌ها در شرایط بدون هوادهی اجرا شد و مکان قرارگرفتن سرریزها درون کانال بود از این‌رو می‌توان از پارامترهای بی‌بعد NA' و WP' نیز صرف‌نظر کرد. ضخامت سرریزهای مورد بررسی اندک و تاج آنها لبه‌تیز بود که در این نوع از سرریزها ضخامت نسبی دیواره (t_w / P) بی‌تأثیر است (Crookston, 2010) و چون سرریزها در پلان دوزنقه‌ای شکل هستند در رابطه ۴ می‌توان پارامترهای بی‌بعد t_w / P و CS' را حذف کرد. بنابراین، رابطه یاد شده به صورت رابطه ۵ ساده می‌شود:

$$C_d = f_4\left(\frac{L_e}{W}, \frac{S}{P}, \frac{H_T}{P}, \frac{h_d}{P}, \frac{P_d}{P}, \frac{S}{P_d}, \frac{h_d}{H_T}, Fr\right) \quad (5)$$

در این تحقیق، رابطه ۵ به‌عنوان رابطه پایدهی برای دنبال کردن آزمایش‌ها به کار گرفته شد.

تجهیزات آزمایشگاهی و روش اجرای آزمایش‌ها
آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک و مدل‌های فیزیکی - هیدرولیکی گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و در قلمی شیب‌پذیر با سیستم بازچرخانی به طول ۱۵ متر، عرض ۱/۵ و عمق ۱ متر اجرا شد؛ دیواره‌ها شیشه‌ای و کف فلزی بود (شکل ۲). جهت تامین دبی، از پمپ سانتریفیوژ استفاده شد که قادر به تامین دبی تا ۹۰ لیتر بر ثانیه و مجهز به دستگاه تنظیم دور موتور بود. جریان با پمپ وارد مخزن بالادست و سپس وارد مخزن آرام‌کننده ورودی و در ادامه وارد کانال می‌گردید. به منظور اندازه‌گیری و تنظیم دبی جریان از دبی‌سنج اولتراسونیک استفاده شد. برای افزایش تراز رسوب‌گذاری به ۹۰ درصد ارتفاع سرریز و افزایش تراز بستر پایاب (تراز بستر کانال پایین دست) به یک سوم و دو سوم ارتفاع سرریز، از کف کاذب استفاده شد.

سرریزهای مورد بررسی در این تحقیق شامل ۶ هندسه کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای به ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر از

با به‌کارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، رابطه ۱ به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\frac{Q}{L_e H_T^{1.5} \sqrt{g}} = f_2\left(\frac{L_e}{W}, \frac{S}{P}, \frac{t_w}{P}, \frac{H_T}{P}, \frac{h_d}{P}, \frac{P_d}{P}, \frac{S}{P_d}\right) \quad (2)$$

$$\frac{h_d}{H_T}, \frac{\rho V y}{\mu}, \frac{V}{\sqrt{g y}}, \frac{\rho V^2 y}{\sigma}, CS', NA', WP'$$

اگر فرض شود طرف دوم رابطه ۲ به‌عنوان ضریب دبی جریان در سرریز تلقی گردد، رابطه دبی سرریزهای کنگره‌ای به صورت رابطه ۳ به دست خواهد آمد:

$$Q = C_d L_e H_T \sqrt{g H_T} \quad (3)$$

که در آن ضریب دبی سرریز به صورت رابطه ۴ بیان می‌شود:

$$C_d = f_3\left(\frac{L_e}{W}, \frac{S}{P}, \frac{t_w}{P}, \frac{H_T}{P}, \frac{h_d}{P}, \frac{P_d}{P}, \frac{S}{P_d}\right) \quad (4)$$

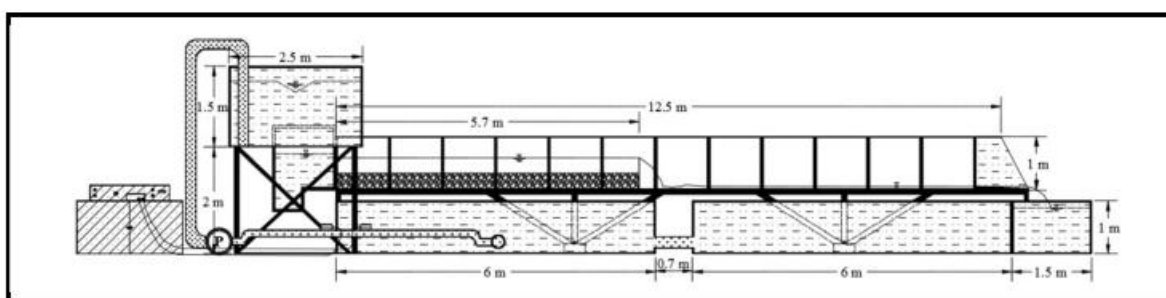
$$\frac{h_d}{H_T}, Re, Fr, W_e, CS', NA', WP'$$

که در آن،

L_e / W = طول نسبی تاج سرریز؛ S / P = درجه رسوب‌گذاری در بالادست سرریز؛ h_d / P = اختلاف انرژی نسبی؛ P / P_d = تراز نسبی بستر پایین دست سرریز؛ S / P_d = نسبت ترازهای رسوبی و بستر پایاب؛ h_d / H_T = درجه استغراق پایاب؛ و Re ، Fr و W_e به ترتیب عددهای رینولدز، وبر و فرود. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر هد جریان روی لبه سرریزها از ۲ سانتی‌متر بیشتر و جریان در کانال قلمو آزمایشگاهی آشفته بوده است، نیروهای کشش سطحی و لزوجت قابل چشم‌پوشی هستند (Subramanya, 1986) و از این‌رو در رابطه ۴ می‌توان اعداد رینولدز و وبر را حذف کرد.

اجتناب از انحنای ایجاد شده در خطوط جریان در هنگام ریزش، عمق آب در فاصله بیش از ۴ برابر عمق بحرانی در بالادست سرریز با استفاده از عمق سنج دیجیتال با دقت ± 0.1 میلی‌متر قرائت شد (Henderson, 1966). با تصویربرداری از نیمرخ سطح آب و استفاده از نرم‌افزار Grapher، نیمرخ سطح آب در کلیه آزمایش‌ها رقمی سازی گردید.

چتس ورقه‌های آهنی به ضخامت ۳ میلی‌متر بودند و در فاصله ۵/۷ متری از ورودی کانال نصب شدند (شکل ۳). در جدول ۱ و شکل ۴ به ترتیب مشخصات هندسی و تصاویری از نمای سه‌بعدی سرریزهای مورد آزمایش آورده شده است. در هر آزمایش، بعد از نصب سرریز و اعمال تراز رسوبی و افزایش تراز بستر پایاب، به جهت آنکه توزیع فشار در لبه ریزش هیدرواستاتیک نیست و به منظور



شکل ۲ طرح کلی از کانال آزمایشگاهی



شکل ۳ تصاویری از کانال آزمایشگاهی و سرریز کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای

Q = ظرفیت دبی سرریز متناسب با طول مؤثر تاج سرریز؛
 C_d = ضریب دبی سرریز؛ g = شتاب ثقل؛ L_e = طول مؤثر تاج سرریز؛ و H_T = هد کل بالادست. در این تحقیق در مجموع ۴۰۸ آزمایش برای هندسه‌های مختلف سرریزهای کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای برای شرایط بدون رسوب و تراز رسوبی ۹۰ درصد ارتفاع سرریز در عمق‌های پایاب غیرمستغرق و مستغرق مختلف اجرا شد.

در این تحقیق، برای محاسبه ضریب دبی جریان از معادله عمومی سرریزها که به صورت رابطه ۶ است، استفاده شد.

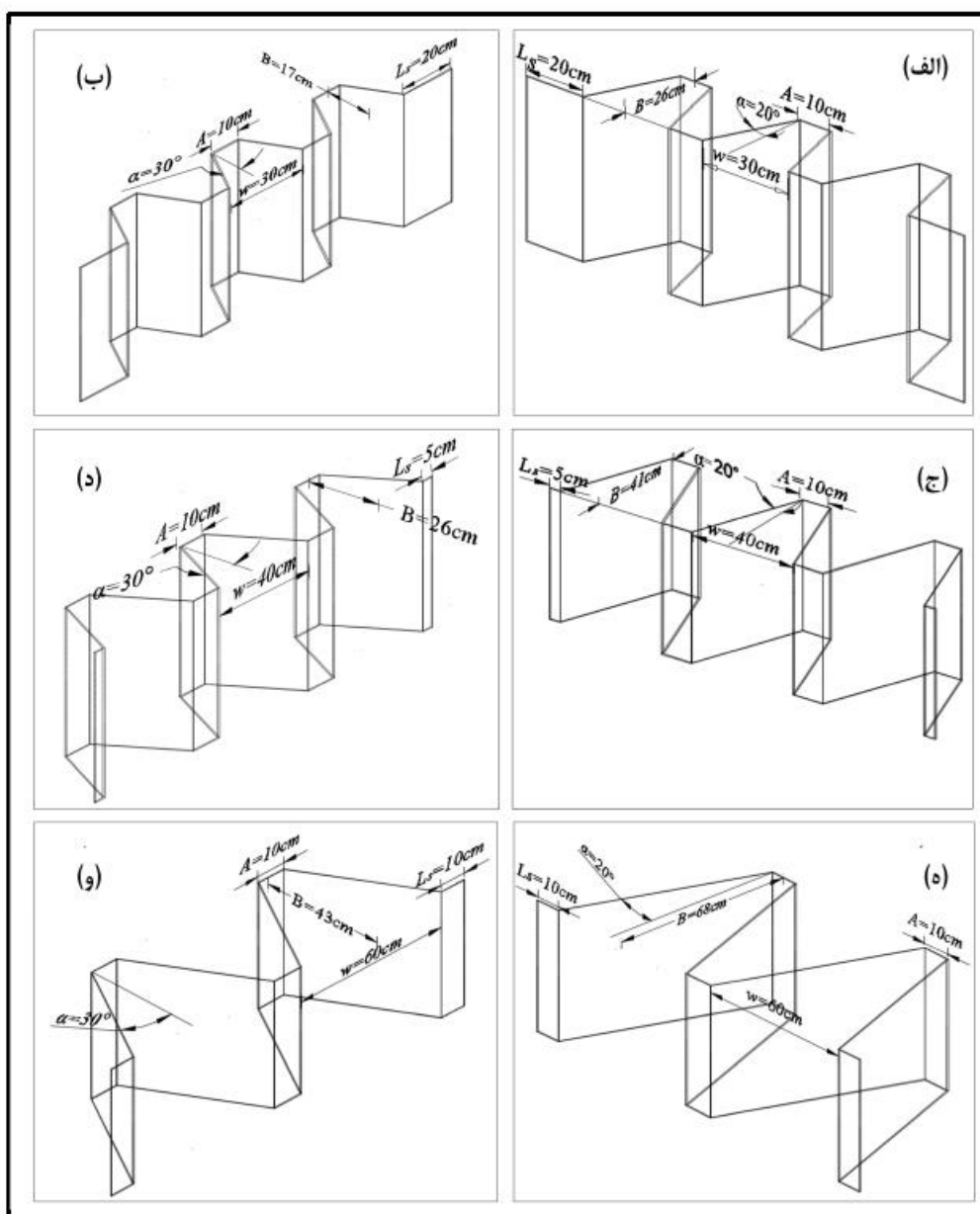
$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2gH_T} C_d L_e H_T \quad (6)$$

که در آن،

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تراز پایاب بر ضریب دبی...

جدول ۱ مشخصات هندسی سرریزهای مورد بررسی

شماره سرریز	عرض سیکل (w, سانتی‌متر)	طول سیکل در جهت جریان (B, سانتی‌متر)	تعداد سیکل در جهت جریان (N)	زاویه راس (α° , درجه)	طول مؤثر سرریز (L_s , سانتی‌متر)	تغییرات هد نسبی کل H_T/P	تغییرات دبی (لیتر بر ثانیه)
LB TW ₁	۲۰	۲۶	۲	۲۰	۲۶۰	۰/۱۹ - ۰/۵	۲۴۸۸
LB TW ₂	۲۰	۱۷	۲	۲۰	۲۱۰	۰/۱۹ - ۰/۵	۲۴۸۸
LB TW ₃	۴۰	۴۱	۲	۲۰	۳۲۲	۰/۱۹ - ۰/۵	۲۴۸۸
LB TW ₄	۴۰	۲۶	۲	۲۰	۲۴۰	۰/۱۹ - ۰/۵	۲۴۸۸
LB TW ₅	۶۰	۶۸	۲	۲۰	۳۴۲	۰/۱۹ - ۰/۵	۲۴۸۸
LB TW ₆	۶۰	۴۲	۲	۲۰	۲۵۰	۰/۱۹ - ۰/۵	۲۴۸۸

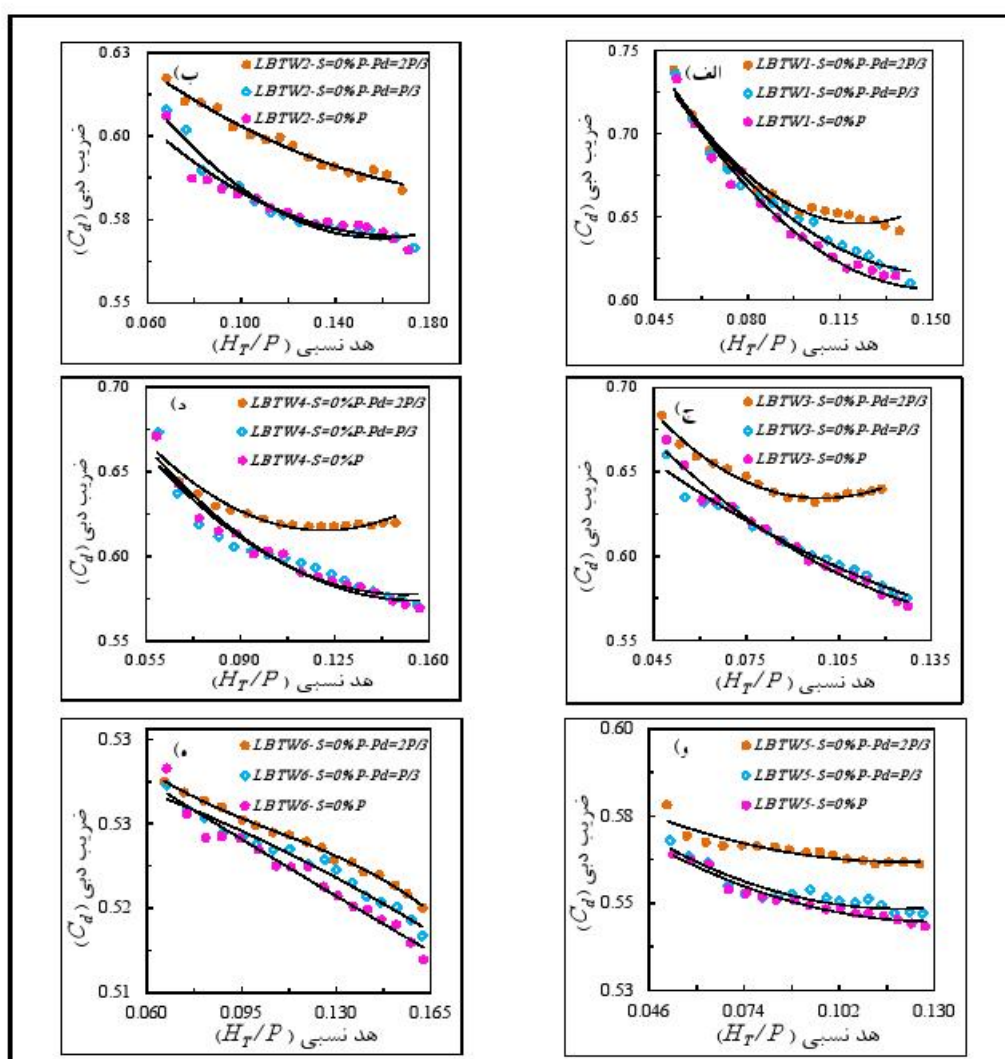


شکل ۴ تصاویری از سرریزهای کنگره‌ای پلان ذوزنقه‌ای مورد مطالعه
 (الف) LB TW₁ (ب) LB TW₂ (ج) LB TW₃ (د) LB TW₄ (ه) LB TW₅ و (و) LB TW₆

نتایج و بحث

دبی سرریزها دارد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان می‌دهد اگر طول سیکل‌ها در جهت جریان، (B)، کمتر از نصف عرض سیکل باشد، تداخل موضعی سفره‌های جریان در سیکل‌های خروجی سبب کاهش ضریب دبی سرریز خواهد شد. به همین جهت در بین سرریزهای $LBTW_1$ و $LBTW_2$ ، سرریز $LBTW_1$ دارای ضریب دبی سرریز بالاتری است و در بین سرریزهای $LBTW_3$ و $LBTW_4$ و نیز سرریزهای $LBTW_5$ و $LBTW_6$ به‌رغم افزایش زاویه در سرریزهای $LBTW_4$ و $LBTW_6$ تغییر محسوسی در ضرایب دبی سرریز نسبت به سرریزهای $LBTW_3$ و $LBTW_5$ ایجاد نگردید.

تأثیر افزایش تراز بستر پایاب بر ضریب دبی سرریز در سرریزهای کنگره‌ای برای شرایط بدون رسوب در شکل ۵، نمودار ضرایب دبی سرریز (C_d) در مقابل هد نسبی کل (H_T/P) برای شرایط بدون رسوب و ترازهای پایاب مختلف آورده شده است. برابر مشاهدات کرکستون و تولیس (Crookston & Tullis, 2013a) انتظار می‌رفت با افزایش زاویه رأس سیکل‌ها ضریب دبی جریان افزایش یابد اما مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که علاوه بر زاویه رأس سیکل‌ها، طول سیکل‌ها در جهت جریان نیز نقش مؤثری در ضریب



شکل ۵ نمودارهای تغییرات ضریب دبی سرریز برای شرایط بدون رسوب و ترازهای بستر پایاب مختلف در سرریزهای کنگره‌ای پلان ذوزنقه‌ای مختلف: الف) $LBTW_1$ ، ب) $LBTW_2$ ، ج) $LBTW_3$ ، د) $LBTW_4$ ، ه) $LBTW_5$ و و) $LBTW_6$

به دو سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=2P/3$)، که در آن مقدار حداقل و حداکثر پارامتر h_a/H_T در دامنه دبی‌های مورد آزمایش به ترتیب $1/5$ و 5 است، ضریب دبی جریان در سرریزهای $LBTW_1$ ، $LBTW_2$ ، $LBTW_3$ ، $LBTW_4$ و $LBTW_5$ نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق به ترتیب به طور متوسط $3/2$ ، $3/3$ ، $6/1$ ، $4/5$ و $2/6$ درصد افزایش یافته ولی در سرریز $LBTW_6$ تأثیر محسوسی بر ضریب دبی جریان آن دیده نشده است.

در شکل ۶، نمودارهای دبی واحد طول در مقابل هد بالادست سرریزهای پلان کنگره‌ای در شرایط بدون رسوب، در ترازهای مختلف بستر پایاب آورده شده است. در اینجا نیز دیده می‌شود که افزایش تراز بستر پایاب به یک سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=P/3$)، تأثیری بر هد بالادست ندارد اما با افزایش آن به دو سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=2P/3$)، هد بالادست نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق در سرریزهای $LBTW_1$ ، $LBTW_2$ ، $LBTW_3$ ، $LBTW_4$ و $LBTW_5$ به طور متوسط $2/2$ ، 3 ، $3/6$ ، $2/7$ و 2 درصد کاهش می‌یابد ولی در هندسه $LBTW_6$ تغییر محسوسی در هد بالادست ایجاد نمی‌شود.

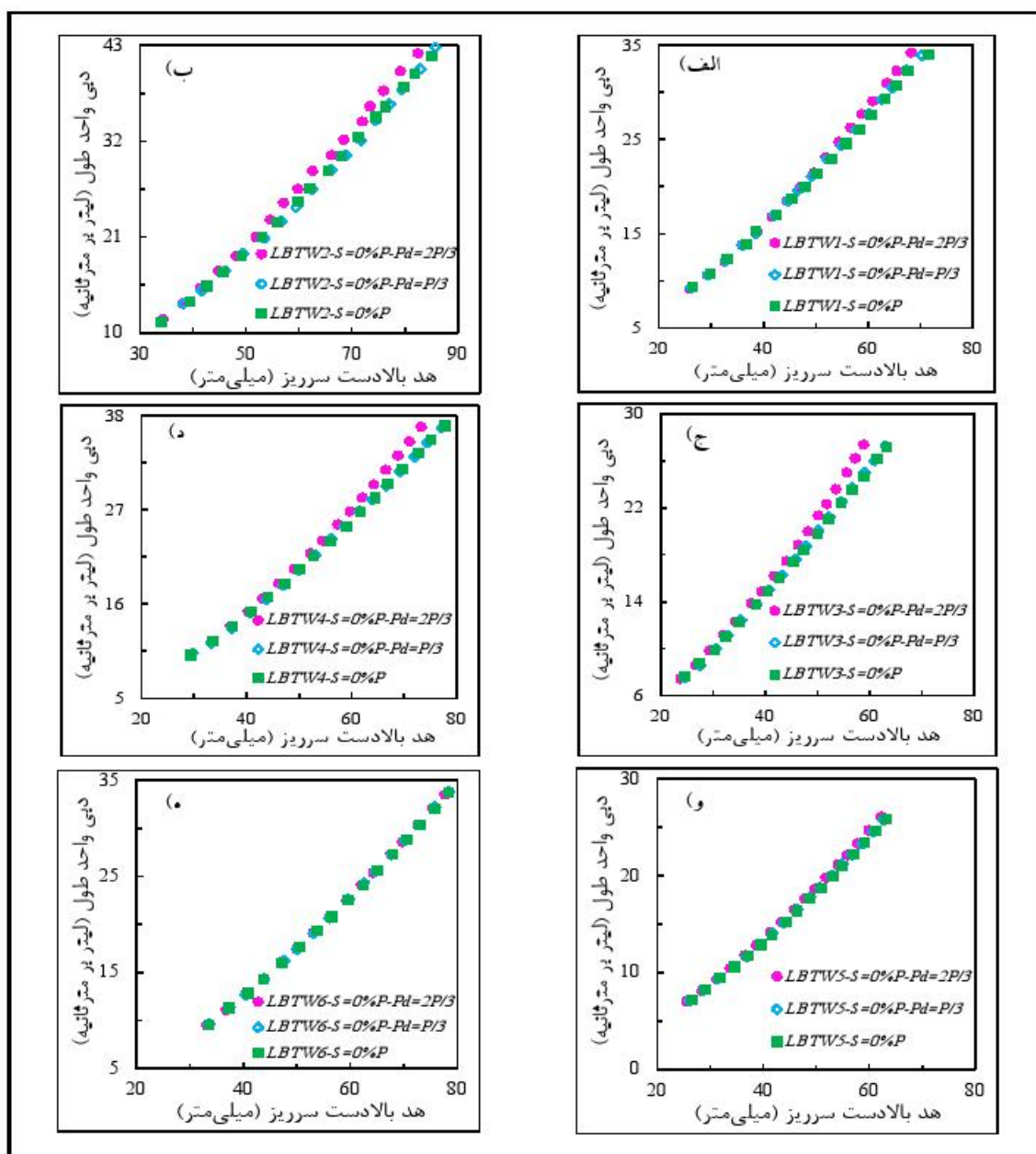
مشاهده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که علت افزایش در ضریب دبی جریان سرریز در هندسه‌های مورد بررسی با افزایش تراز بستر پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=2P/3$)، تغییر الگوی ریزشی تیغه‌های جریان از حالت چپ‌نده^۱ (جدا بودن تیغه آب از لبه و دیواره‌های پایین دست سرریز) به حالت چسبیده^۲ (چسبیده بودن تیغه آب به لبه و دیواره‌های پایین دست سرریز) است که از فشار منفی در زیر تیغه‌های ریزشی جریان ناشی می‌شود. به عبارت دیگر، به دلیل افزایش تراز بستر پایاب که در نتیجه آن ارتفاع ریزش کاهش می‌یابد، طول پرتاب تیغه‌های جریان از روی سرریز کاهش می‌یابد (شکل ۷). مشاهدات آزمایشگاهی همچنین نشان می‌دهد که علاوه بر تغییر شکل ریزش جریان از روی تاج سرریز، میزان

مقایسه نتایج حاصل از تغییر عرض سیکل‌ها با ثابت ماندن زاویه رأس و تعداد سیکل‌ها نشان می‌دهد که با ثابت ماندن تعداد سیکل‌ها و زاویه رأس آنها، افزایش عرض سیکل‌ها (w) و به تبع آن افزایش طول سیکل‌ها در جهت جریان (B) به افزایش ضریب دبی جریان سرریزها می‌انجامد. برای نمونه، در سرریزهای $LBTW_2$ و $LBTW_4$ ، افزایش عرض (w) و طول سیکل‌ها (B) به ترتیب از 30 و 17 به 40 و 26 سانتی‌متر، سبب افزایش ضریب دبی سرریز آن نسبت به هندسه $LBTW_2$ گردید. اما در هندسه‌های $LBTW_1$ و $LBTW_3$ که تعداد و زاویه رأس سیکل ثابت دارند، انتظار می‌رفت با افزایش عرض (w) و طول سیکل (B) به ترتیب از 30 و 26 به 40 و 41 سانتی‌متر، ضریب دبی سرریز بهتر شود ولی به علت کم بودن فاصله دیواره‌های جانبی سرریز $LBTW_3$ از دیواره‌های فلوم (I_s)، تداخل تیغه‌های ریزشی جریان از دیواره‌های جانبی با یال‌های سیکل سرریز کنگره‌ای رخ می‌دهد و منجر به کاهش ضریب دبی سرریز آن نسبت به سرریز $LBTW_1$ می‌شود. از این رو پیشنهاد می‌شود که برای کاهش اثر دیواره‌های جانبی سرریزها، حداقل فاصله دیواره‌های جانبی سیکل‌ها از دیواره‌های کانال، (I_s)، نصف عرض سیکل باشد.

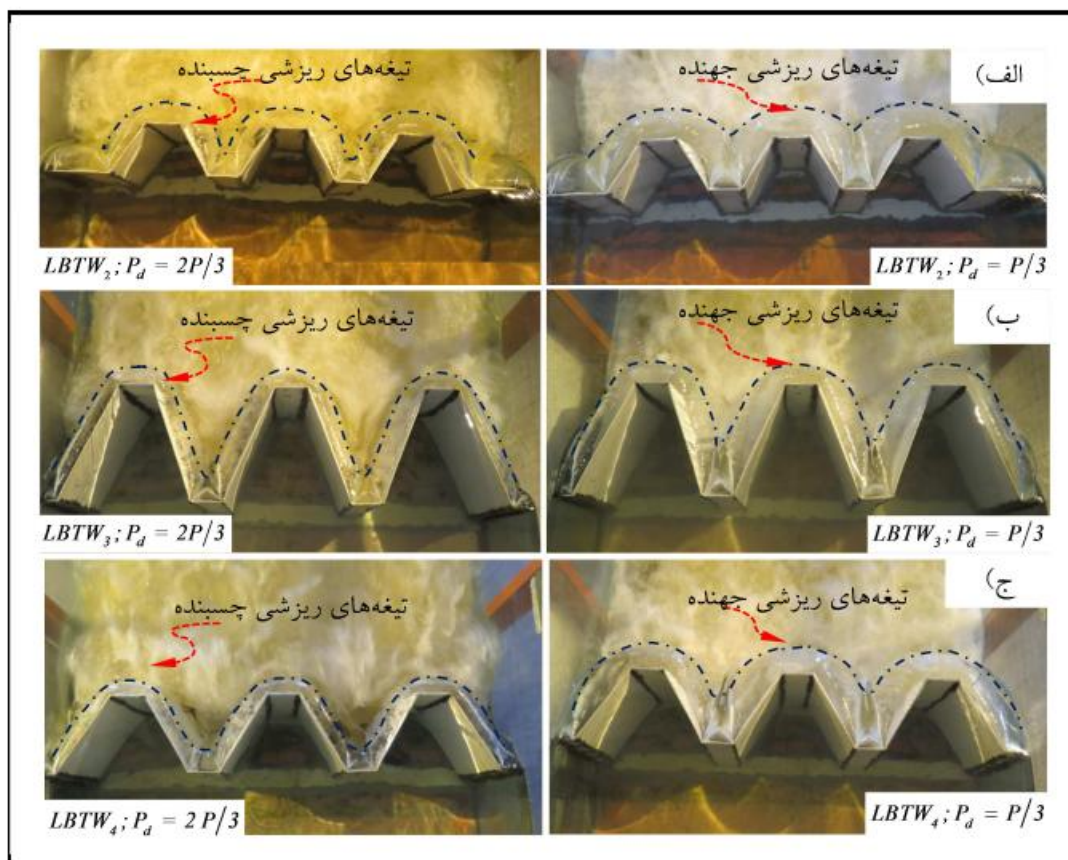
بررسی نتایج به دست آمده همچنین نشان می‌دهد که در سرریزهای پلان کنگره‌ای در شرایط پایاب غیرمستغرق و مستغرق ($P_a=2P/3$ و $P_a=P/3$) با افزایش دبی جریان، به دلیل افزایش استغراق موضعی در سیکل‌های خروجی، نمودارهای ضرایب دبی جریان روند نزولی دارند. همان طور که در این نمودارها دیده می‌شود در تراز بستر پایاب یک سوم ارتفاع سرریز ($P_a=P/3$) که در آن مقدار حداقل و حداکثر پارامتر h_a/H_T در دامنه دبی‌های مورد آزمایش به ترتیب 4 و 10 است، نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق، تأثیر محسوسی بر ضریب دبی جریان در سرریزهای مورد مطالعه ندارد. با افزایش تراز بستر پایاب

به طوری که در دبی حداکثر مقدار افزایش در ضریب دبی جریان سرریزهای $LBTW_1$ ، $LBTW_2$ ، $LBTW_3$ ، $LBTW_4$ ، $LBTW_5$ نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق به ترتیب ۷/۸، ۳/۲، ۱۲/۲، ۸/۸ و ۳/۳ درصد است و در سرریز $LBTW_6$ تأثیر محسوسی بر ضریب دبی جریان آن دیده نمی‌شود.

تداخل تیغه‌های ریزی هم به دلیل کاهش طول پرتابه تیغه جریان، کاهش می‌یابد. به همین جهت در شرایط بدون رسوب در بین هندسه‌های سه سیکل و نیز در دو هندسه با دو سیکل با عرض و تعداد سیکل برابر، سرریزهای دارای طول سیکل در جهت جریان (B) بیشتر، افزایش در ضریب دبی جریان آنها محسوس‌تر است



شکل ۶ تأثیر عمق‌های پایاب بر هد بالادست جریان سرریزهای کنگره‌ای پلان ذوزنقه‌ای در شرایط بدون رسوب (الف) $LBTW_1$ ، (ب) $LBTW_2$ ، (ج) $LBTW_3$ ، (د) $LBTW_4$ ، (و) $LBTW_5$ و (ه) $LBTW_6$



شکل ۷ نمونه‌هایی از تصاویر تیه‌های ریزشی جریان از روی تاج سرریز در شرایط بدون رسوب‌گذاری در بالادست و در ترازهای مختلف پایاب سرریز در دبی ۸۸ لیتر بر ثانیه. (الف) $LBTW_2$, (ب) $LBTW_3$ و (ج) $LBTW_4$

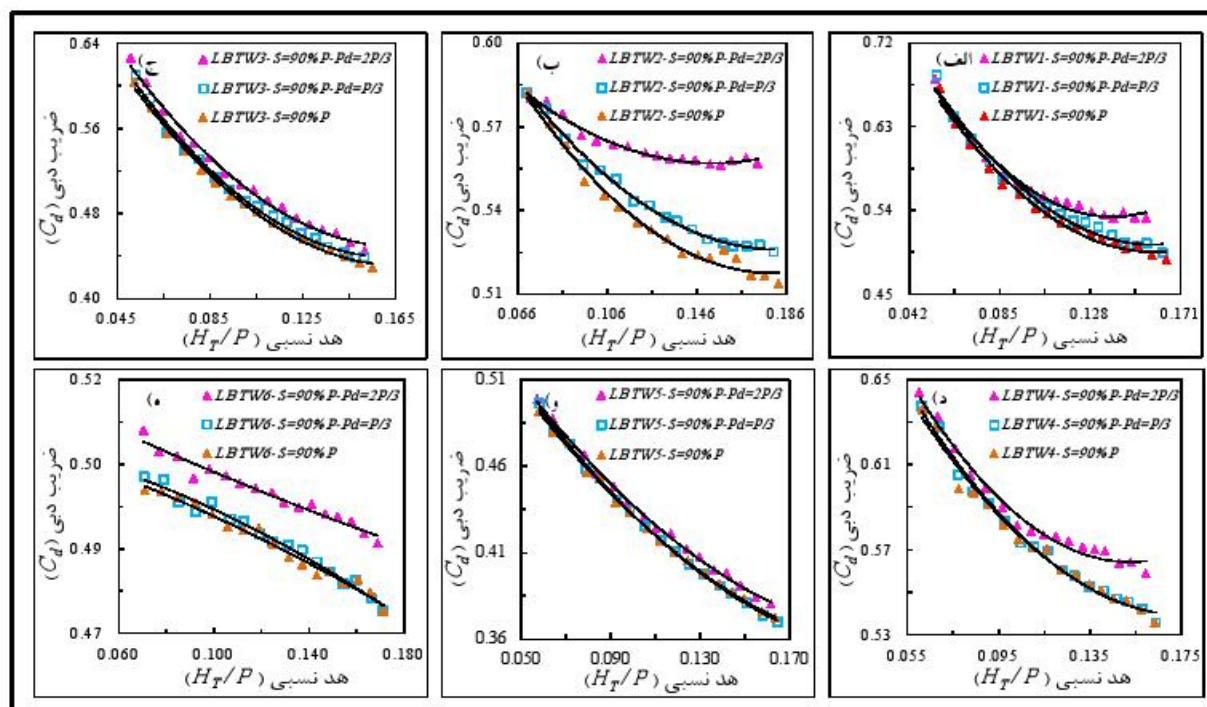
است. مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با افزایش تراز رسوب‌گذاری به ۹۰ درصد ارتفاع سرریز، سرعت جریان نزدیک‌شونده به سرریز افزایش و به تبع آن عمق جریان کاهش می‌یابد، در نتیجه، ضریب دبی جریان در تمامی شرایط پایاب مستغرق و غیرمستغرق نسبت به شرایط بدون رسوب کاهش بیشتری پیدا می‌کند به طوری که متوسط کاهش ضریب‌های دبی جریان در سرریزهای مورد مطالعه، نسبت به شرایط بدون رسوب، ۱۵ درصد است. مشاهدات آزمایشگاهی همچنین نشان می‌دهد که در نتیجه افزایش سرعت، طول پرتاب تیه‌های ریزشی از لبه سرریزها افزایش می‌یابد. از سوی دیگر، به جهت افزایش سرعت جریان در محدوده سیکل‌های ورودی، خطوط جریان برای ریزش از طول یال سیکل‌های دوزنقه‌ای نیاز به مومتوم بیشتری دارد و در نتیجه بخش

با جمع‌بندی کلی در شرایط بدون رسوب و تمامی شرایط پایاب مستغرق و غیرمستغرق می‌توان گفت که در میان سرریزهای کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای مورد مطالعه، سرریزهای سه سیکل، در مقایسه با سرریزهای دو سیکل، ضریب دبی سرریز بالاتری دارند. با توجه به نتایج گفته شده، بیشترین ضریب دبی جریان مربوط به سرریز $LBTW_1$ (با عرض و طول سیکل به ترتیب ۳۰ و ۲۶ سانتی‌متر و زاویه رأس سیکل ۲۰ درجه) و کمترین ضریب دبی جریان مربوط به سرریز $LBTW_6$ (با عرض و طول سیکل به ترتیب ۶۰ و ۴۳ سانتی‌متر و زاویه رأس سیکل ۳۰ درجه) است.

در شکل ۸ نمودار ضریب‌های دبی سرریز، (C_d) ، در مقابل هد نسبی کل، (H_T / P) ، در تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز و ترازهای پایاب مختلف آورده شده

هندسه $LBTW_3$ (با عرض و طول سیکل در جهت جریان ۴۰ و ۴۱ سانتی‌متر) ضریب دبی جریان آن در مقایسه با هندسه $LBTW_1$ (با عرض و طول سیکل در جهت جریان ۳۰ و ۲۶ سانتی‌متر) کاهش می‌یابد. در بین هندسه‌های $LBTW_2$ و $LBTW_4$ با تعداد و زاویه راس سیکل برابر (دارای سه سیکل و زاویه راس ۳۰ درجه)، با وجود افزایش عرض و به تبع آن طول سیکل در جهت جریان، (B)، در هندسه $LBTW_4$ (با عرض و طول سیکل در جهت جریان به ترتیب ۴۰ و ۲۶ سانتی‌متر) ضریب دبی جریان آن نسبت به هندسه $LBTW_2$ (با عرض و طول سیکل در جهت جریان ۳۰ و ۱۷ سانتی‌متر) بیشتر است زیرا در هندسه $LBTW_2$ با افزایش دبی جریان، بخش بیشتری از سیکل‌ها در مقایسه با هندسه $LBTW_4$ دچار استغراق می‌شوند. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که برای کاهش اثر استغراق موضعی، طول سیکل در جهت جریان، (B)، باید بیشتر از نصف عرض سیکل، (w)، باشد.

بیشتری از جریان از محدوده نزدیک به رأس خروجی سیکل‌ها تخلیه می‌شود. از این رو انتظار می‌رود که در تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد، کاهش زاویه رأس سیکل‌ها و نیز افزایش طول آنها در جهت جریان، (B)، ضریب دبی سرریزها را کاهش دهد. مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد، بین هندسه‌های سرریز کنگره‌ای مورد بررسی با ثابت ماندن تعداد و عرض سیکل‌ها، با افزایش زاویه رأس سیکل‌ها (۳۰ درجه) و به تبع آن کاهش طول آنها در جهت جریان، (B)، هندسه‌های $LBTW_2$ ، $LBTW_4$ و $LBTW_6$ ، ضریب دبی جریان بالاتری نسبت به هندسه‌های متناظرشان با زاویه رأس کمتر (۲۰ درجه) و طول سیکل در جهت جریان (B) بیشتر (یعنی $LBTW_1$ ، $LBTW_3$ و $LBTW_5$) دارند. همچنین، با ثابت ماندن تعداد و زاویه رأس سیکل‌ها در بین هندسه‌های $LBTW_1$ و $LBTW_3$ (دارای سه سیکل و زاویه رأس برابر با ۲۰ درجه)، با افزایش عرض و به تبع آن طول سیکل در جهت جریان (B) در



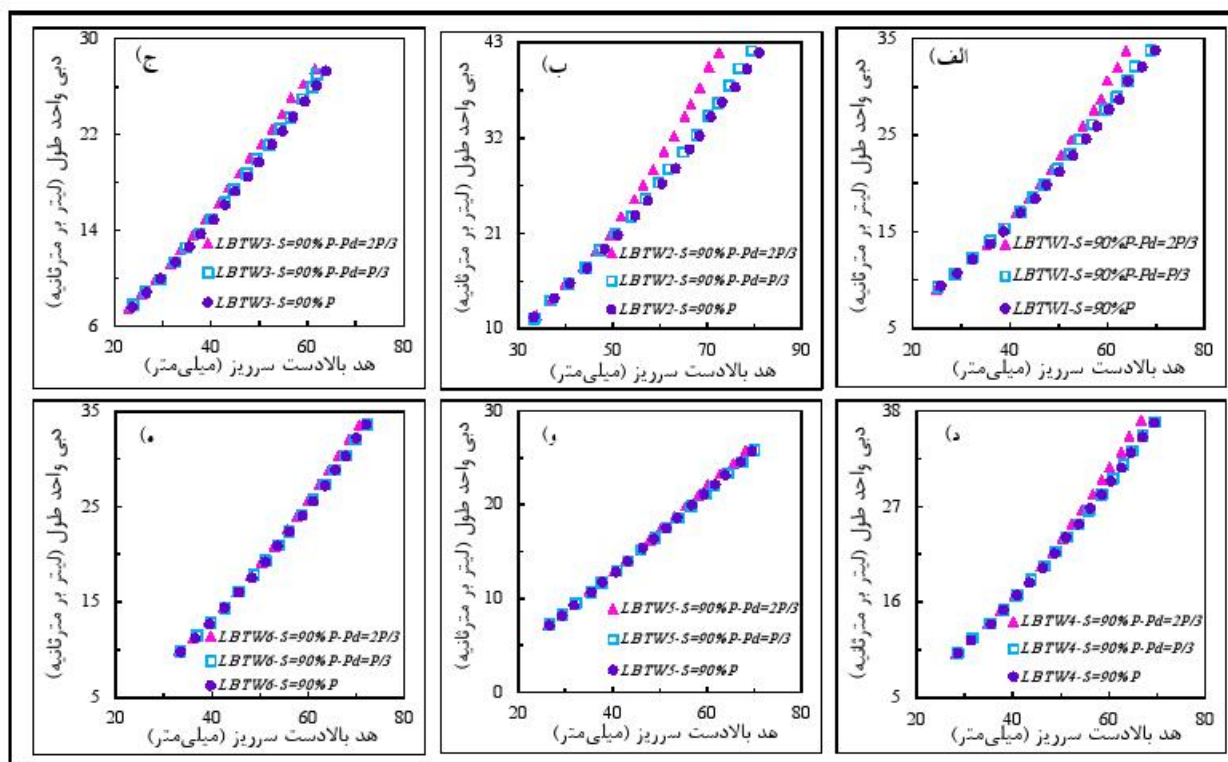
شکل ۸ نمودارهای تغییرات ضریب دبی جریان در مقابل هد نسبی کل در تراز ۹۰ درصد ارتفاع سرریز و ترازهای پایاب مختلف در سرریزهای کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای مختلف. الف) $LBTW_1$ ، ب) $LBTW_2$ ، ج) $LBTW_3$ ، د) $LBTW_4$ ، و) $LBTW_5$ و ه) $LBTW_6$

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تراز پایاب بر ضریب دبی...

آورده شده است. مقایسه نتایج به دست آمده نشان می دهد که با افزایش تراز بستر پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=2P/3$)، هد بالادست در هندسه های مذکور در دامنه دبی های مورد آزمایش به طور متوسط به ترتیب ۳/۹، ۶، ۳/۸، ۲/۲، ۱/۶ و ۱/۵ درصد نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق کاهش می یابد. در تراز رسوب گذاری ۹۰ درصد در بین سرریزهای مورد بررسی، تأثیر افزایش تراز بستر پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=2P/3$)، بر هندسه های با طول سیکل در جهت جریان کمتر، (B)، محسوس تر است. همان طور که پیش از این گفته شد، با افزایش دبی جریان و تراز بستر پایاب، به تدریج بر فشار هوای منفی در زیر تیغه های ریزشی افزوده می شود و موجب چسبیدن این سفره ها به راس و پال سیکل های بالادست و پایین دست سرریز کنگره ای و نیز موجب کاهش طول پرتاب تیغه های ریزشی می گردد. در نتیجه، از داخل تیغه های ریزشی جریان کاسته و به افزایش ضریب دبی جریان آن در این شرایط منجر می شود (شکل ۱۰).

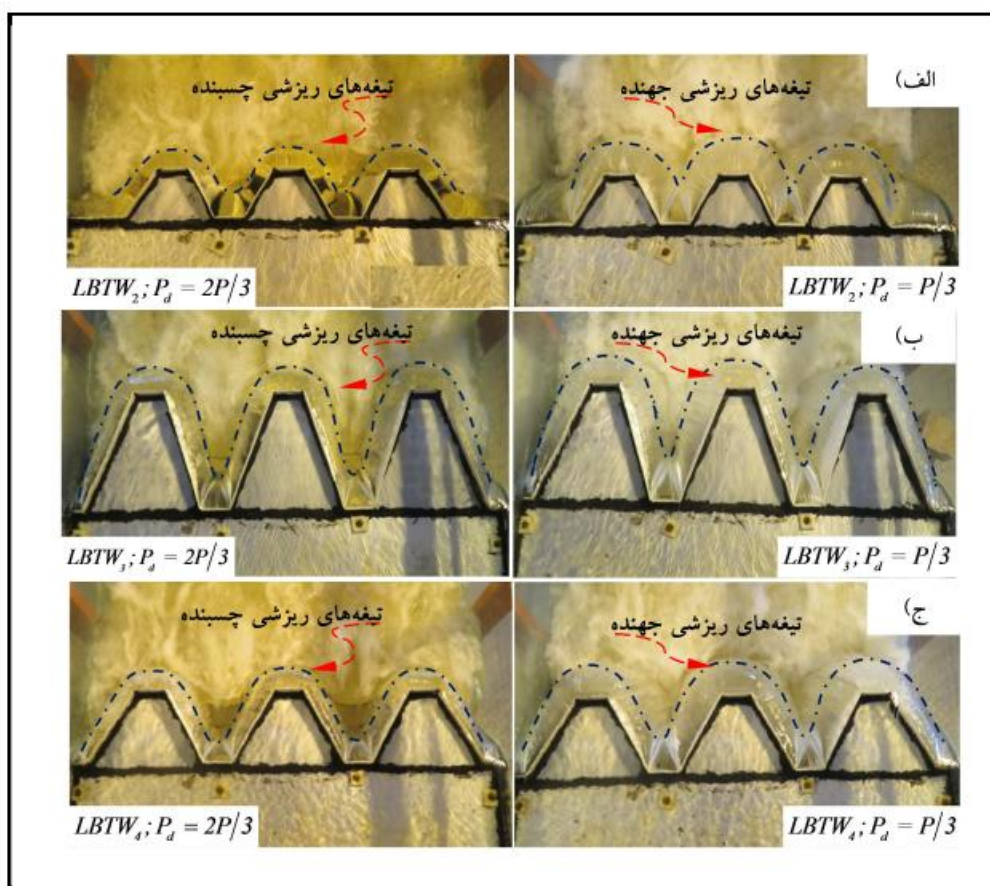
تجزیه و تحلیل داده های آزمایشگاهی در تراز رسوب گذاری گفته شده نشان می دهد که تراز بستر پایاب یک سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=P/3$)، که در آن حداقل و حداکثر پارامتر h_a/H_T در دامنه دبی های مورد آزمایش به ترتیب ۳ و ۱۰ است، تأثیری بر ضریب دبی جریان سرریز و هد بالادست هندسه های مورد بررسی ندارد.

با افزایش تراز بستر پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، ($P_a=2P/3$)، که در آن حداقل و حداکثر پارامتر h_a/H_T در دامنه دبی های مورد آزمایش به ترتیب ۱/۴ و ۴/۵ است، ضرایب دبی جریان سرریز در هندسه های $LBTW_1$ ، $LBTW_2$ ، $LBTW_3$ ، $LBTW_4$ ، $LBTW_5$ و $LBTW_6$ نسبت به ضرایب دبی جریان سرریز متناظر در شرایط پایاب غیرمستغرق در تراز رسوب گذاری مذکور به طور متوسط به ترتیب ۴/۴، ۵، ۴/۲، ۲/۵، ۱/۸ و ۱/۹ درصد افزایش می یابد. در شکل ۹، نمودارهای دبی واحد طول در مقابل هد بالادست سرریزهای پلان کنگره ای در تراز رسوب گذاری ۹۰ درصد، در ترازهای مختلف بستر پایاب



شکل ۹ تأثیر اعماق پایاب بر هد بالادست جریان سرریزهای پلان کنگره ای در تراز رسوب گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز:

(الف) $LBTW_1$ (ب) $LBTW_2$ (ج) $LBTW_3$ (د) $LBTW_4$ (و) $LBTW_5$ (ه) $LBTW_6$



شکل ۱۰- نمونه‌هایی از تصاویر تیغه‌های ریزشی جریان از روی تاج سرریز برای ترازهای مختلف پایاب و ارتفاع رسوب‌گذاری ۹۰ درصد در دبی ۸۸ لیتر بر ثانیه در هندسه‌های مختلف: (الف) $LBTW_2$ ، (ب) $LBTW_3$ ، (ج) $LBTW_4$

سیکل در جهت جریان (B) کمتر، محسوس‌تر است به طوری که در دبی حداکثر افزایش ضریب دبی جریان سرریزهای $LBTW_1$ ، $LBTW_2$ ، $LBTW_3$ ، $LBTW_4$ و $LBTW_5$ نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق به ترتیب ۹/۲، ۸/۴، ۳/۸، ۴/۵، ۲/۱ و ۲/۵ درصد است. بنابراین، در شرایط مذکور و با توجه به نتایج به دست آمده، بیشترین و کمترین ضریب دبی جریان به ترتیب مربوط به سرریزهای $LBTW_4$ و $LBTW_5$ است.

استخراج معادله رگرسیونی برای ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای برای شرایط مختلف هیدرولیکی در بالادست و پایین دست

پیش از این گفته شد که عملکرد سرریزهای کنگره‌ای تحت تأثیر پارامترهای مختلف هندسی و هیدرولیکی است

با جمع‌بندی کلی در تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز در شرایط پایاب غیرمستغرق و افزایش تراز بستر پایاب به یک سوم ارتفاع سرریز، ($P_d = P/3$)، می‌توان گفت که در میان هندسه‌های مورد مطالعه سرریز $LBTW_4$ (با سه سیکل، عرض سیکل ۴۰ سانتی‌متر، طول سیکل در جهت جریان ۲۶ سانتی‌متر و زاویه رأس ۳۰ درجه) بالاترین ضریب دبی جریان را در دامنه دبی‌های مورد مطالعه دارد و سرریز $LBTW_5$ (با دو سیکل، عرض سیکل ۶۰ سانتی‌متر، طول سیکل در جهت جریان ۶۸ سانتی‌متر و زاویه رأس ۲۰ درجه) کمترین ضریب دبی جریان را دارد. اما تأثیر افزایش استغرق پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، ($P_d = 2P/3$)، به‌ویژه در دامنه‌های بالا، ($0.1 < H_T/P < 0.2$)، بر سرریزهایی با طول

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تراز پایاب بر ضریب دبی...

در استخراج معادله رگرسیونی، ترکیب‌های مختلف پارامترهای اثرگذار (گفته شده در رابطه ۹) در نرم‌افزار SAS 9 و با استفاده از ۷۰ درصد از داده‌ها بررسی شد.

$$C_d = f\left(\frac{H_T}{P}, \frac{w}{L_e}, \frac{B}{w}, \frac{L_e}{W}, \frac{h_d}{H_T}, \frac{h_d}{P}, \frac{S}{P}, Fr\right) \quad (9)$$

رابطه ۱۰ برای برآورد ضریب دبی جریان در سرریزهای مذکور در شرایط رسوبی مختلف و پایاب مستغرق استخراج گردید.

$$C_{d(Est)} = -0.0825 + 3.2241\left(e^{\frac{H_T}{P}}\right) - 5.3164\left(\frac{H_T}{P}\right) - 0.0352\left(e^{\frac{L_e}{W}}\right) - 0.3028\left(e^{\frac{w}{L_e}}\right) + 0.00507\left(\frac{h_d}{H_T}\right) - 1.4599\left(e^{\frac{h_d}{P}}\right) + 0.0282\left(\frac{B}{w} \times e^{\frac{S}{P}} \times Fr^{-0.5048}\right) \quad (10)$$

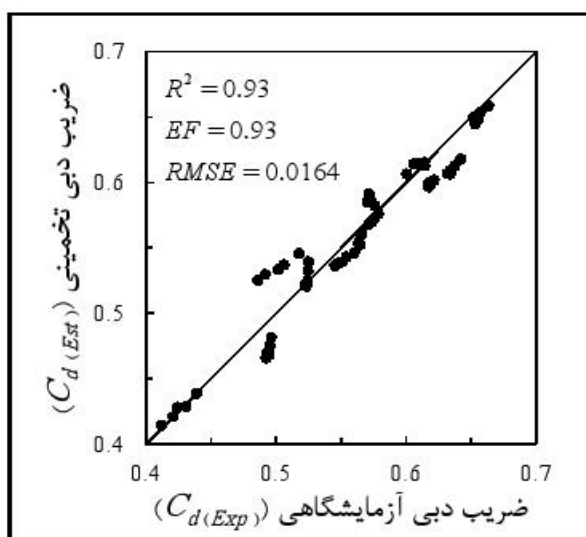
در شکل ۱۱، مقایسه مقادیر آن بخش از داده‌های آزمایشگاهی که در استخراج معادلات به کار نرفته است با مقادیر برآورد شده ضریب دبی سرریز نشان داده شده است. با توجه به آماره‌های به دست آمده می‌توان گفت که معادله استخراج شده از مدل رگرسیونی در برآورد ضریب دبی جریان سرریزهای کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای در شرایط هیدرولیکی مختلف دارای دقت قابل قبولی است.

بنابراین ارائه روابطی جهت پیش‌بینی ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای در شرایط هیدرولیکی یاد شده می‌تواند در مراحل اولیه طراحی این نوع سرریزها مفید باشد.

برای استخراج مدل رگرسیونی، تحلیل آماری پارامترهای هندسی مهم اثرگذار مورد مطالعه بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای با افزایش رسوب‌گذاری و استغراق جریان به ترتیب در بالادست و پایین‌دست این سرریزها انجام پذیرفت. همچنین، برای تشریح بهتر همبستگی میان نتایج آزمایشگاهی و مدل رگرسیونی در برآورد ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای، از آماره‌های ضریب تبیین، (R^2) ، راندمان مدل، (EF) ، و میانگین مجذور مربعات خطا، $(RMSE)$ ، به شرح زیر استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C_{d(Est)} - C_{d(Exp)})^2}{n}} \quad (7)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{d(Est)} - \bar{C}_{d(Exp)})^2 - \sum_{i=1}^n (C_{d(Est)} - C_{d(Exp)})^2}{\sum_{i=1}^n (C_{d(Est)} - \bar{C}_{d(Exp)})^2} \quad (8)$$



شکل ۱۱ مقایسه عملکرد مدل رگرسیونی در برآورد ضریب دبی جریان هندسه‌های مختلف سرریز کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای در شرایط رسوبی مختلف و پایاب مستغرق

نتیجه‌گیری

افزایش تراز بستر پایاب به یک سوم ارتفاع سرریز، نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق، تأثیری بر ضریب دبی جریان سرریزها نداشته است. اما با افزایش تراز بستر پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، ضریب دبی جریان در سرریزهای مورد مطالعه نسبت به شرایط پایاب غیرمستغرق افزایش یافته که دلیل آن کاهش حجم توده هوا در زیر تیغه‌های ریزشی جریان و در نتیجه تغییر الگوی تیغه‌های ریزشی جریان بوده است. همچنین در شرایط بدون رسوب، در بین سرریزهای کنگره‌ای با عرض و تعداد سیکل برابر، میزان افزایش در ضریب دبی جریان سرریزها ناشی از افزایش استغراق پایاب به دو سوم ارتفاع سرریز، در سرریزهایی که دارای طول سیکل در جهت جریان بیشتری بودند، محسوس‌تر بود. اما در تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز، تأثیر افزایش تراز بستر پایاب گفته شده بر سرریزهایی با طول سیکل در جهت جریان کمتر محسوس‌تر است به طوری که در دامنه دبی‌های بالا، $(0.1 < H_T/P < 0.2)$ ، سرریزهایی با طول سیکل در جهت جریان کمتر، ضریب دبی جریان بالاتری داشته‌اند.

در این تحقیق تأثیر افزایش تراز بستر پایاب بر تغییر ضریب دبی جریان سرریزهای کنگره‌ای پلان دوزنقه‌ای در شرایط بدون رسوب و تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز در بالادست آنها در آزمایشگاه بررسی شد. مقایسه نتایج به دست آمده نشان داده است که در شرایط بدون رسوب و پایاب مستغرق و غیرمستغرق، سرریزهای دارای تعداد سیکل بیشتر و طول سیکل در جهت جریان بزرگتر ضریب دبی بیشتری دارند. در شرایط یاد شده معلوم شد که در میان سرریزهای مورد مطالعه، سرریزهای $LBTW_1$ و $LBTW_6$ به ترتیب بالاترین و کمترین ضریب دبی جریان را داشته‌اند. در تراز رسوب‌گذاری ۹۰ درصد ارتفاع سرریز و پایاب مستغرق و غیرمستغرق، سرریزهایی با زاویه رأس بیشتر و طول سیکل در جهت جریان کمتر ضریب دبی بالاتری داشته‌اند. در شرایط یاد شده، سرریزهای $LBTW_4$ و $LBTW_5$ به ترتیب بالاترین و کمترین ضریب دبی جریان را داشته‌اند. مقایسه نتایج به دست آمده نشان داده است که

مراجع

- Carollo, F. G., Ferro, V. and Pampalone, V. 2012. Experimental investigation of the outflow process over a triangular labyrinth weir. *J. Irrig. Drain. Eng.* 138(1): 73-79.
- Crookston, B. M. 2010. Labyrinth weirs. Ph. D. Thesis. Utah State University. Logan. UT.
- Crookston, B. M. and Tullis, B. P. 2013a. Hydraulic design and analysis of labyrinth weirs. I: discharge relationships. *J. Irrig. Drain. Eng.* 139(5): 363-370.
- Crookston, B. M. and Tullis, B. P. 2013b. Hydraulic design and analysis of labyrinth weirs. II: nappe aeration, instability, and vibration. *J. Irrig. Drain. Eng.* 139(5): 371-377.
- Dastorani, M. and Nasarabadi, M. 2012. Effect of sedimentation behind Ogee spillways on the flow characteristics. *Iranian Water Res. J.* 6(10): 1-10. (in Persian)
- Dizadji, N. and Mahmoudkhani, A. M. 2009. Experimental research on the effects of sediments on discharge coefficient of rectangular, v-notch, ogee and overflow weirs. *Iranian J. Watershed Manage. Sci. Eng.* 3(8): 39-50. (in Persian)
- Esmaeili-Varaki, M. and Safarrazavizadeh, M. 2013. Study of hydraulic features of flow over labyrinth weir with semi-circular plan. *J. Water Soil.* 27(1): 224-234. (in Persian)
- Hay, N. and Taylor, G. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. *J. Hydraul. Eng.-ASCE.* 96(11): 2337-2357.

- Henderson, F. M. 1966. Open Channel Flow. New York. Macmillan Publishing Co. Inc.
- Khatsuria, R. M. 2005. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators. Marcel Dekker. New York.
- Lux, F. 1993. Design methodologies for labyrinth weirs. Proceeding of **Internatioinal Conference on Hydropower, Water Power. Nashville. Tennessee. USA.**
- Lux, F. and Hinchliff, D. L. 1985. Design and construction of labyrinth spillways. Proceeding of 15th Congress of ICOLD. Lausanne. Switzerland.
- Savage, B., Crookston, B. M. and Paxson, S. 2016. Physical and numerical modeling of large headwater ratios for a 15' labyrinth spillway. J. Hydraul. Eng. Doi: 10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0001186, 04016046.
- Subramanya, K. 1986. Flow in Open Channel. Second Ed. Tata McGraw-Hill. New Delhi.
- Taylor, G. 1968. The performance of labyrinth weirs. Ph. D. Thesis. University of Nottingham. Nottingham. England.
- Tullis, B. P., Young J. and Chandler, M. 2007. Head-discharge relationships for submerged labyrinth weirs. J. Hydraul. Eng. 133(3): 248-254.
- Yasi, M. and Mohammadi, M. 2007. Study of labyrinth spillways with curved planform. J. Sci. Technol. Agric. Nat. Res. 11(41): 1-13. (in Persian)



Experimental Investigation of the Effect of Tail Water Level on Discharge Coefficient of Trapezoidal Labyrinth Weirs

H. Shafaattalab-Deghani, M. Esmaeili-Varaki* and A. Ashrafzadeh

* Corresponding Author: Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, University of Gilan, Rasht, Iran. Email: esmaeili.varaki@yahoo.com

Received: 12 July 2016, Accepted: 5 October 2016

Labyrinth weirs are often a favorable design option to regulate water surface elevation in upstream canal and increase flow capacity. Due to their hydraulic performance and geometric versatility, labyrinth weirs have been used extensively in canals, rivers, ponds, and reservoirs as energy dissipaters, flow aerators, and spillways. Nevertheless, it can be difficult for engineer to optimally design, labyrinth weirs due to the complexities of nappe behavior and many geometric and hydraulic variables. A level of sedimentation in upstream and submergence in downstream of the weirs are effective parameters which affects the discharge coefficient, and the performance of these structures. In this investigation effects of 408 tests of different levels of tail water (increase of downstream canal bed level to one third and two third of weir height) and upstream sedimentation level (non-sedimentation and sedimentation level of 90 percent of weir height) on the discharge coefficient of different geometers of trapezoidal labyrinth weirs was investigated experimentally. The analysis of results indicated that increase of tail water level to one third of weir height didn't affect on the discharge coefficient of weirs. By increasing tail water depth to two third of weir height, air cavity volume under nappe decreased. Therefore, the flow pattern of the nappe changed from leaping to clinging condition and upstream head decreased. As a result, the labyrinth weirs discharge coefficient in non-sedimentation and sedimentation level of 90 percent of weir height increased about 3.3 to 12.2 and 2.1 to 9.2 in comparison with non-submergence tail water for maximum discharge respectively. Finally, the statistical equation for estimation of the discharge coefficient of trapezoidal labyrinth weirs for upstream sedimentation and submerged conditions was developed.

Key Words: Discharge Coefficient, Labyrinth Weir, Sedimentation, Regulate Structure, Tail Water Level