

بررسی آزمایشگاهی تأثیر افزایش طول مؤثر بر دبی عبوری سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای شکل مرکب

حسین آذر پیوند^{۱*}، علیرضا عمادی^۱ و محمد صدقی اصل^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۳)

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای، سازه‌های اقتصادی برای بالا بردن بازده خروجی سرریز در یک عرض محدود هستند که در پلان به شکل ذوزنقه، مثلث و غیره دیده می‌شوند. این سرریزها در یک بار هیدرولیکی و عرض ثابت در مقایسه با انواع دیگر سرریزها دبی بیشتری را از خود عبور می‌دهند. در این تحقیق، سرریزهای چندوجهی که در پلان ذوزنقه‌ای شکل هستند، بررسی شدند. آزمایش‌ها روی ۲۷ مدل آزمایشگاهی و با ۹ دبی مختلف و در مجموع با ۲۴۳ آزمایش انجام گرفتند. نتایج آزمایش‌های این پژوهش نشان داد که در مورد کلیه سرریزهای چندوجهی مرکب ذوزنقه‌ای شکل نسبت پارامتر، ضریب دبی به H_t/p (H_t : بار هیدرولیکی کل و P : ارتفاع سرریز) ابتدا افزایش یافته و پس از رسیدن به یک مقدار حداکثر، شروع به کاهش می‌کند. طبق رابطه کلی ارائه شده بیشترین تأثیرات بر ضریب دبی ناشی از تعداد سیکل و نسبت H_t/p است. ایجاد کنگره جدید در بال سرریز باعث افزایش طول مؤثر شده و مقدار دبی جریان عبوری افزایش یافته است که در نتیجه، ضریب دبی جریان در یک مقدار H_t/p مشخص افزایش می‌یابد. همچنین، دبی عبوری در سرریزهای چندوجهی ذوزنقه‌ای شکل با پلان مرکب نیم‌دایره‌ای بهتر از مربعی و سرریز مرکب مربعی بهتر از سرریزهای ذوزنقه‌ای ساده است.

واژه‌های کلیدی: سرریز چندوجهی، طول مؤثر، ضریب دبی، بار هیدرولیکی، سرریز کنگره‌ای مرکب

۱. گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری

۲. گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه یاسوج، یاسوج

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: h.azarpayvand64@yahoo.com

مقدمه

یکی از مشکلاتی که شبکه‌های آبیاری با آن مواجه هستند، تغییر میزان دبی عبوری از سازه آبگیر به واسطه نوسانات سطح آب در مجرای اصلی است. سرریزهای کنگره‌ای از جمله سازه‌های هیدرولیکی برای تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها و رودخانه‌ها و مخازن سدها محسوب می‌شوند. سرریزهای چندوجهی به دلیل تغییرات جزئی بار استاتیکی روی تاج در نوسانات زیاد جریان، در مقایسه با انواع دیگر سرریزها، سازه‌های بسیار مفید، ایمن‌تر و اقتصادی برای بالا بردن بازده سرریز در نتیجه افزایش طول مؤثر تاج آن برای کنترل سطح آب در شبکه‌های آبیاری محسوب می‌شوند (۴). با توجه به رابطه دبی و بار هیدرولیکی در سرریزها، یکی از راه‌های کاهش این نوسانات که ناشی از تغییرات دبی است، افزایش طول تاج سرریز است. یکی از ضرورت‌های استفاده از سرریزهای کنگره‌ای جلوگیری از آب‌گرفتگی زمین‌های کشاورزی بالادست و تنظیم سطح آب است که با افزایش طول سرریز در عرض ثابت امکان عبور دبی بیشتر را به‌ویژه در زمان‌های سیلابی فراهم می‌آورد (۳).

سرریزهای چندوجهی که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته‌اند در پلان به شکل دوزنقه و یا مثلث است. اولین تلاش برای تحلیل سرریزهای چندوجهی را می‌توان به هی و تیلور نسبت داد. در خصوص بازده سرریزهای چندوجهی رابطه‌ای برای نسبت Q_N/Q_L بیان شد. در این رابطه Q_L دبی سرریز چندوجهی با طول L و Q_N دبی سرریز معمولی (خطی) با طول W (معادل عرض آبراهه اصلی) در یک بار هیدرولیکی مشخص است. این مطالعات نشان داد که بازده سرریزهای چندوجهی در بار هیدرولیکی کم، مطلوب است (۵). بررسی‌های آزمایشگاهی مدل روی سرریز چندوجهی سدهای ورونورا و آون واقع در استرالیا مورد استفاده قرار گرفت و منحنی‌هایی برای طراحی این نوع سرریزها ارائه شد (۲). با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، تأثیر گوشه‌های سرریز چندوجهی را روی دبی جریان بررسی و در نهایت رابطه‌ای برای محاسبه دبی در این

گونه سرریزها ارائه شد (۹). سازمان عمران ایالات متحده آمریکا (USBR) مطالعاتی روی مدل آزمایشگاهی سرریز چندوجهی سدهای یوت و هی‌رام انجام داده است. گزارش‌های منتشر شده توسط این سازمان نشان می‌دهد که بین نتایج به‌دست آمده از تحقیقات USBR با نتایج به‌دست آمده توسط هی و تیلور اختلاف وجود دارد، این اختلاف ناشی از کاربرد بار پی‌زومتری به‌جای استفاده از بار آبی کل توسط پژوهشگران اخیر بوده است (۹ و ۱۰). با انجام آزمایشات روی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای با زوایای رأس ۸ و ۱۶ درجه، رابطه‌ای برای ضریب دبی عبوری ارائه شده است که تابعی از طول بال، زاویه رأس، هد آب بالادست و همچنین تحت تأثیر ارتفاع و استغراق پای سرریز است که رابطه‌ای را برای منحنی دبی-اشل ارائه شد (۶).

اگر بار آبی کل به‌جای بار پی‌زومتری استفاده و فرمول‌های تجربی برای دبی سرریزهای چندوجهی بیان شود، مشاهده می‌شود که راندمان سرریزهای چندوجهی در مقادیر بالای بار آبی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیری است که مطالعات دیگر نشان می‌دهد (۱۵). با به‌کارگیری تحلیل ابعادی و تطبیق آن با نتایج تجربی، روشی برای طراحی سرریزهای چندوجهی ارائه می‌شود که دقت و سادگی بیشتری نسبت به روش‌های قبلی دارد (۱۲). اثر زوایای مختلف سرریز چند وجهی بر اوزس که در پلان به شکل دوزنقه است در هد‌های پایین بررسی شده و روش تعدیل شده‌ای برای طراحی آنها ارائه شد. (۱۱). در بررسی خصوصیات تداخل تیغه‌های ریزی و استغراق موضعی در سرریزهای کنگره‌ای با دو و چهار سیکل مثلثی و زوایای رأس مختلف که به‌صورت آزمایشگاهی مورد تحقیق شده نشان داد که در دبی‌های کم، به‌دلیل تداخل کم تیغه‌های ریزی ضریب دبی جریان از سرریز خطی بیشتر بوده به تدریج با افزایش دبی جریان شدت تداخل بیشتر می‌شود. این موضوع منجر به کاهش ضریب دبی جریان شده و مقدار آن متمایل به ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن می‌شود (۱۴). مطالعه آزمایشگاهی روی ضریب سرریز کنگره‌ای با پلان مثلثی و

دبی عبوری از سرریزهای چندوجهی دوزنقه‌ای شکل با افزایش طول باله‌ها (با تغییر در پلان) و مقایسه ضریب دبی‌های عبوری آنها با یکدیگر و با سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه ساده (در پلان) است. در واقع این پژوهش به دنبال افزایش طول سرریز با همان عرض ثابت و بررسی ضریب دبی بوده است. ضریب تخلیه سرریزها به عوامل متعددی از جمله مشخصات هیدرولیکی جریان عبوری از روی تاج سرریز و مشخصات هندسی سرریز وابسته است. این نوع سرریزها در پلان به صورت دوزنقه، مثلث و یا نوک اردکی دیده می‌شوند و می‌توانند به صورت چندین سیکل تکرار شوند.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاه

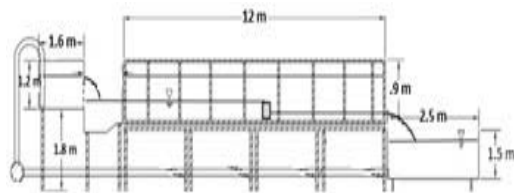
مطالعات آزمایشگاهی پژوهش حاضر در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج انجام شده است. این فلوم به وسیله یک موتور پمپ با حداکثر دبی ۹۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می‌شد. مدل‌ها در محور مرکزی کانال به وسیله چسب اکواریوم نصب و آب‌بندی شدند، رهاسازی دبی در این فلوم به وسیله یک شیر کنترل که بلافاصله بعد از پمپ و در ابتدای دهانه ورودی قرار گرفته بود کنترل می‌شد. نحوه تغذیه فلوم به این ترتیب بوده است که آب در یک سیکل بسته از یک منبع اصلی، پمپاژ شده و از آنجا پس از ریزش در منبع ابتدایی کانال با عبور از یک آرام کننده که در ابتدای فلوم قرار داشت، وارد کانال می‌شود. آب پس از عبور از فلوم آزمایشگاهی و بعد از تقریباً پنج متر به وضعیت آرام جریان می‌رسد، ارتفاع آب (H) عبوری از مدل‌های سرریز در فاصله‌ای تقریباً چهار برابر ارتفاع سرریز (۴p) و قبل از اینکه جت جریان شکل بگیرد اندازه‌گیری شده و در انتهای کانال با عبور از سرریز مثلثی دبی مورد نظر اندازه‌گیری می‌شود و در آخر جریان به مخزن اصلی وارد می‌شود. فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش دارای کف و دیواره‌هایی از جنس پلکسی‌گلاس بود و روی خرپای

مقایسه نتایج نشان می‌دهد که با کاهش زاویه رأس سرریز، طول ناحیه تداخل جریان افزایش یافته و ضریب دبی جریان سرریز کاهش محسوسی می‌یابد، همچنین در این تحقیق روابطی برای محاسبه ضریب دبی جریان با زوایای رأس مختلف ارائه شده است (۱۰).

در مطالعات دیگر در مورد سرریزهای کنگره‌ای که با پلان‌های متفاوت (با پلان نیم‌دایره ای-خطی و نیم‌دایره‌ای با شعاع‌های مختلف) انجام شده است بیان می‌کند که ضریب دبی جریان در مورد کلیه سرریزهای مذکور با افزایش H_t/p (نسبت انرژی کل بالادست به ارتفاع سرریز) تا ۰/۳۷، روند افزایشی داشته و سپس به دلیل تداخل تیغه‌های ریزشی ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد و به تدریج با استغراق نسبی سرریز، ضریب دبی جریان به سمت ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن متمایل می‌شود (۱۳).

بررسی سرریزهای کنگره ای با پلان مستطیلی نشان می‌دهد اگر ارتفاع آب بالادست ثابت باشد، دبی عبوری سرریز کنگره‌ای حداکثر ۲/۶ برابر دبی سرریز مستقیم خواهد بود و همچنین در دبی ثابت، ارتفاع آب بالادست سرریز مستقیم ۱/۸ برابر ارتفاع آب بالادست سرریز کنگره‌ای است و بهترین محدوده ضریب دبی عبوری برای طراحی سرریز کنگره‌ای بازه H_t/p از ۰/۲ تا ۰/۴ بیان می‌کند (۳). با تغییر شعاع انحنا دماغه سرریزهای کنگره‌ای با دو سیکل با پلان‌های مثلثی، دوزنقه‌ای و مستطیلی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که قوسی کردن دماغه منجر به بهبود راندمان هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای می‌شود (۱۷). بررسی ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای با یک سیکل به شکل مستطیل و U حاکی از این است که با افزایش ارتفاع سرریز مقدار ضریب دبی در یک H_t/P (نسبت انرژی کل بالادست به ارتفاع سرریز) مشخص افزایش می‌یابد، همچنین مقایسه‌های به عمل آمده نشان می‌دهد که طول موازی با جریان باعث کاهش دبی عبوری و طول عمود بر جریان باعث افزایش دبی عبوری می‌شود (۸).

هدف از این پژوهش بررسی عملکرد هیدرولیکی و ضریب



ب

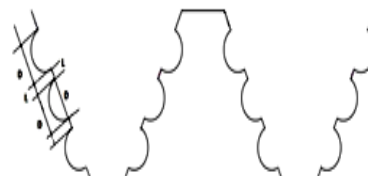


الف

شکل ۱. الف) طرح شماتیک و ب) نمایی از فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده



شکل ۳. شکل شماتیک سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای مرکب دایره‌ای
WLCR



شکل ۲. شکل شماتیک سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای مرکب مربعی
WLCS

آکواریوم به هم چسبانده شوند و برای تهیه نیم‌دایره‌های موجود در مدل از لوله‌های پلی‌اتیلن و پلیکا استفاده شده است و مدل‌ها در وسط کانال آزمایشگاهی جایی که جریان کاملاً توسعه یافته بود، حرکت آب در بالادست نسبتاً آرام و موج‌های سطحی کوچک نیز از بین رفته بودند، نصب شدند. به‌منظور اینکه جریان عبوری در هنگام تخلیه تداخل کمتری داشته باشد کنگره‌های مرکب در سمت جریان ورودی طراحی شده است. برای جلوه بیشتر مدل‌ها در زیر جریان آب، آنها با رنگ قرمز رنگ‌آمیزی شده‌اند. مدل‌ها شامل ۱۸ سرریز چندوجهی مرکب با کنگره‌های جدید مربعی و نیم‌دایره‌ای در بال به‌منظور افزایش طول سرریز همراه با زاویه و ارتفاع‌های مختلف و ۹ مدل سرریز دوزنقه‌ای ساده برای مقایسه هستند. تمامی مدل‌ها به‌صورت دو سیکلی و در پلان به‌صورت دوزنقه‌ای ساخته شده‌اند. شکل‌های (۲) و (۳) نشانگر شکل شماتیک مدل‌های مذکور هستند. شکل (۴) (الف تا د)، نمونه‌ای از مدل سرریزهای مورد استفاده در این تحقیق که با کنگره‌های به عرض ۵ و عرض ۱۰ سانتی‌متر (ارتفاع سرریزها ۲۰ سانتی‌متر) را نشان می‌دهد.

فلزی نصب شده بود. شکل (۱) (الف و ب) به‌ترتیب طرح شماتیک و نمایی فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

اندازه‌گیری‌ها

به‌منظور تعیین ضریب دبی سرریز لازم است دبی عبوری از سرریز و همچنین بار هیدرولیکی روی آن اندازه‌گیری شود. دبی جریان به‌وسیله یک سرریز مثلثی که در انتهای کانال نصب شده بود، محاسبه شد. برای بررسی و مقایسه مقدار دبی جریان قبل و بعد از سرریز، استغراق احتمالی و دیگر پارامترهای تأثیرگذار، اندازه‌گیری عمق آب در بالادست و پایین‌دست برای بررسی تمام جوانب و بررسی استغراق احتمالی و دیگر شرایط کار آزمایشگاهی و در دست داشتن داده‌های پایین‌دست ارتفاع جریان پایین‌دست برداشت شد.

مدل‌های آزمایشگاهی

مدل‌ها از جنس پلکسی گلاس پنج میلی‌متر بوده که به‌وسیله لیزر در ابعاد مورد نیاز برش زده شدند و به‌وسیله چسب شیشه و



ج



الف



د



ب

شکل ۴. نمونه‌ای از سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای شکل مرکب الف) سرریز کنگره‌ای مرکب با زاویه ۱۴ درجه و کنگره مربعی به قطر ۱۰ سانتی‌متر، ب) سرریز کنگره‌ای با زاویه ۱۴ درجه و کنگره نیم‌دایره به قطر ۱۰ سانتی‌متر، ج) سرریز کنگره‌ای با زاویه ۳۱ درجه و کنگره مربعی به قطر پنج سانتی‌متر و د) سرریز کنگره‌ای با زاویه ۳۱ درجه و کنگره نیم‌دایره به قطر پنج سانتی‌متر

شده روی بال‌ها هستند که به‌صورت شماتیک در شکل (۲) و (۳) آورده شده است. نحوه شماره‌گذاری این دو مدل هم به‌صورت WL هستند که در بالا ذکر شده است. سرریزهای مورد استفاده در این پژوهش از دو سیکل تشکیل شده‌اند که هر سیکل از دو بال و در مجموع از چهار بال که به‌صورت ذوزنقه‌ای به هم متصل شده‌اند و روی هر بال با زاویه ۱۴ و ۱۷ درجه دو کنگره جدید (مرکب) مربعی و نیم‌دایره‌ای و در کل هشت کنگره جدید با طول قطرهای ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر افزوده می‌شود. در مدل‌های ۳۱ درجه در مجموع چهار کنگره با قطرهای ۵، ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

آنالیز ابعادی

با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیر گذار بر آزمایش که شامل موارد زیر است به آنالیز ابعادی آنها پرداخته و اعداد بدون بعد به‌دست

مدل‌های سرریز را به‌وسیله چسب دوطرفه به کف فلوم چسبانده و برای آب‌بندی از چسب آکواریوم استفاده شده است. مشخصات مجموعه مدل‌های به‌کار گرفته شده در این تحقیق در جداول (۱)، (۲) و (۳) به خوبی نشان داده شده است. منظور از WL سرریزهای کنگره‌ای ساده هستند که به‌دلیل تعداد زیاد سرریزها و به‌منظور سهولت در شناسایی آنها با شماره‌های WL_{ab} که اندیس حرف اول (a) بیانگر زاویه رأس سرریزها است و با اعداد ۱، ۲ و ۳ نشان داده شدند که عدد ۱ زاویه رأس ۱۴ درجه، عدد ۲ زاویه رأس ۱۷ درجه و عدد ۳ زاویه رأس ۳۱ درجه است، اندیس دوم (b) مربوط به ارتفاع است که باز هم با اعداد ۱، ۲ و ۳ بیان شده‌اند که عدد ۱ مربوط به ارتفاع ۱۵، عدد ۲ مربوط به ارتفاع ۲۰ و عدد ۳ ارتفاع ۲۵ را نشان می‌دهد. WL_{CR} سرریزهای کنگره‌ای مرکب با کنگره‌های نیم‌دایره‌ای روی بال‌ها، WL_{CS} سرریزهای کنگره‌ای مرکب با کنگره‌های مربعی اضافه

$$\pi_{\varphi} = \frac{H_t}{L_N} \quad (12)$$

معادل عدد فرد است

$$\pi_{\delta} = \frac{gH^{\delta}}{Q^2} \Rightarrow Fr = \frac{v}{\sqrt{gl}} \quad (13)$$

$$\pi_{\rho} = \frac{\rho Q^2}{\delta H^3} \Rightarrow \pi_{\rho} = W_e \quad (14)$$

$$\pi_{\nu} = \alpha \quad (15)$$

$$\pi_{\lambda} = N \quad (16)$$

$$\pi_{\eta} = Nd \quad (17)$$

که در پایان روابط بی بعد زیر به دست می آید و از بین پارامترهای رابطه (۱۸) موارد $N, \alpha, H_t/p$ به عنوان پارامترهای تأثیرگذار انتخاب می شوند.

$$C_d = f\left(N_d, \alpha, N, Fr, W_e, \frac{H_t}{L_N}, \frac{H_t}{D}, \frac{H_t}{L}, \frac{H_t}{P}\right) \quad (18)$$

روابط مورد استفاده

معیارهای خطای میانگین ریشه مربعات (RMSE) و خطای قدر مطلق میانگین در (MAE) در روابط (۱۹) و (۲۰) نشان داده شده اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum^n (C_{d,com} - C_{d,obs})^2}{n}} \quad (19)$$

$$MAE = \frac{\sum^n |C_{d,com} - C_{d,obs}|}{n} \quad (20)$$

در روابط بالا RMSE: ریشه میانگین مربعات خطا، $C_{d,com}$: ضریب دبی محاسباتی، MAE: میانگین قدر مطلق خطا، $C_{d,obs}$: ضریب دبی مشاهداتی هستند.

از آنجا که هدف این پژوهش بررسی تغییرات ضریب دبی و میزان دبی عبوری است به بررسی رفتار ضریب دبی در مقابل تغییرات H_t/P پرداخته شده است. به طور کلی برای به دست آوردن ضریب دبی سرریزهای کنگره ای از رابطه (۲۲) استفاده می شود (۱۴).

می آید و پارامترهایی که تأثیر ناچیز بر روند تحلیل داده ها داشته اند حذف می شوند.

طبق رابطه (۱) ضریب دبی به پارامترهای زیر وابسته است:

$$C_d = f(Q, \delta, \rho, g, B, P, D, N, \alpha, H_t, L_n, N_d) \quad (1)$$

که در آن، Q : دبی جریان ورودی، δ : کشش سطحی، ρ : چگالی، g : شتاب گرانش B : عرض کانال، H_t : ارتفاع آب بالادست، L : طول یک سیکل، L_n : طول دماغه، P : ارتفاع سرریز، D : قطر یا عرض کنگره جدید، N : تعداد سیکل و α : زاویه رأس سرریز است، در این صورت با لحاظ کردن اعداد بدون بعد α, N و N_d و با انجام آنالیز ابعادی روی ۹ پارامتر باقیمانده به روش π باکینگهام ۶ عدد بدون دیگری به دست آید.

از آنجایی که در مجموع ۱۲ پارامتر تأثیرگذار بر مدل ها وجود دارد و متغیرهای دخیل در مسئله (n) ۱۲ عدد است و تعداد و ابعاد اصلی (k) برابر با ۳ است.

$$\pi = n - k \rightarrow 12 - 3 = 9 \quad (2)$$

تعداد پارامترهای بی بعد ۹ عدد به دست می آید که در این میان سه پارامتر α, N, N_d خود بی بعد هستند و سه پارامتر δ, Q, H_t سه متغیر اصلی هستند پس با حل دستگاه ۶ معادله ای به روش π باکینگهام ۶ عددی بعد دیگر را به دست می آوریم.

$$\pi_1 = (Q)^{a_1} \times (\delta)^{b_1} \times (H_t)^{c_1} \times B = (MLT)^{\circ} \quad (3)$$

$$\pi_2 = (Q)^{a_2} \times (\delta)^{b_2} \times (H_t)^{c_2} \times P = (MLT)^{\circ} \quad (4)$$

$$\pi_3 = (Q)^{a_3} \times (\delta)^{b_3} \times (H_t)^{c_3} \times D = (MLT)^{\circ} \quad (5)$$

$$\pi_4 = (Q)^{a_4} \times (\delta)^{b_4} \times (H_t)^{c_4} \times LN = (MLT)^{\circ} \quad (6)$$

$$\pi_5 = (Q)^{a_5} \times (\delta)^{b_5} \times (H_t)^{c_5} \times g = (MLT)^{\circ} \quad (7)$$

$$\pi_6 = (Q)^{a_6} \times (\delta)^{b_6} \times (H_t)^{c_6} \times \rho = (MLT)^{\circ} \quad (8)$$

که در نهایت با حل معادلات فوق خواهیم داشت:

$$\pi_1 = \frac{H_t}{B} \quad (9)$$

$$\pi_2 = \frac{H_t}{P} \quad (10)$$

$$\pi_3 = \frac{H_t}{D} \quad (11)$$

جدول ۱. سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای مرکب و ساده

مدل	زاویه (درجه)	ارتفاع سرریز (متر)	تغییرات H/P	قطر کنگره	تعداد کنگره	مقدار طول اضافه شده	طول کل با اضافه شدن کنگره‌های جدید	طول سرریز بدون کنگره‌های جدید
WL	۱۴-۳۱	۰/۱۵-۰/۲۵	۰/۷۰۲-۰/۴	-	-	-	-	۲/۵
WLCR	۱۴-۳۱	۰/۱۵-۰/۲۵	۰/۰۱-۰/۶۹۵	۵-۱۰	۴-۸	۰/۴۵۶-۰/۱۹۴	۱/۳۹۴-۲/۹۵۶	۱/۲-۲/۵
WLCS	۱۴-۳۱	۰/۱۵-۰/۲۵	۰/۰۱۲-۰/۶۹۵	۵-۱۰	۴-۸	۱/۶۴-۰/۴۸	۱/۶۸-۴/۱	۱/۲-۲/۵

جدول ۲. مربوط به سرریز کنگره‌ای مرکب با کنگره مربعی و نیم‌دایره‌ای

مدل	Q (m ^۳ /s)	ارتفاع آب روی سرریز H(m)	P ارتفاع سرریز (m)	H _t /P	C _d	مقدار طول اضافه شده	کنگره‌های مرکب جدید	طول با اضافه شدن کنگره‌های جدید	طول سرریز بدون کنگره‌های جدید	زاویه
WLCS	۰/۰۵۶-۰/۰۰۲۳	۰/۰۶۱-۰/۰۰۸۱	۰/۲	۰/۳۱-۰/۴۱	۰/۳۴-۰/۵۰	۱/۶	۴/۱	۲/۵	۱۴	
WLCR	۰/۰۵۶-۰/۰۰۲۳	۰/۰۶۰-۰/۰۰۰۸	۰/۲	۰/۳۲-۰/۰۴	۰/۳۴-۰/۵۰	۰/۴۵۶	۲/۹۶	۲/۵	۱۴	
WLCS	۰/۰۶۳-۰/۰۰۰۳	۰/۰۶۸-۰/۰۱۱	۰/۲	۰/۳۴-۰/۰۶۵	۰/۳۴-۰/۵۰	۰/۳۵	۲/۵۲	۲/۱۷	۱۷	

سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای شکل با تغییر پلان‌های مختلف انجام شد که بخشی از نتایج در جداول (۱) تا (۲) تشریح شده است. به‌عنوان نمونه جدول (۲) بازه تغییرات ضریب دبی، نسبت $\frac{H_t}{P}$ ، دبی‌ها و دیگر پارامترهای مذکور سه تا از مدل‌های آزمایشگاهی مورد استفاده در پژوهش را نشان می‌دهند.

در جدول (۲) مدل‌هایی با زاویه ۱۷ درجه و کنگره اضافه شده مربعی (مرکب مربعی) با طول و عرض ۱۰ سانتی‌متر، مشخصات کامل فیزیکی و هیدرولیکی گروه با زاویه ۱۴ درجه و کنگره اضافه شده نیم‌دایره‌ای با قطر ۰ سانتی‌متر و همچنین مشخصات کامل فیزیکی و هیدرولیکی مدل با زاویه ۱۷ درجه و کنگره اضافه شده نیم‌دایره‌ای با قطر ۷/۵ سانتی‌متر را نشان می‌دهد.

مقدار طول کل اضافه شده و تغییرات قطرها و تعداد سیکل‌ها به‌خوبی در جداول نشان داده شده‌اند. در جدول (۱) ردیف اول مدل‌های سرریز ذوزنقه‌ای ساده (WL) هستند که مقادیر تعداد

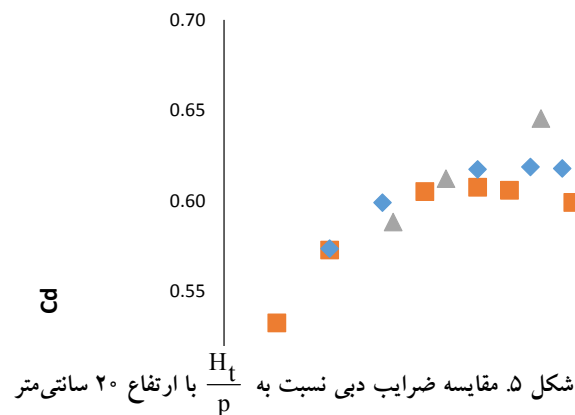
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L H_t^{3/2} \quad (21)$$

$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} L H_t^{3/2}} \quad (22)$$

که در آن: C_d = ضریب دبی بدون بعد، Q = دبی جریان متر مکعب بر ثانیه، L = طول مؤثر تاج برحسب متر، H_t = بار کل هیدرولیکی برحسب متر (مجموع بار استاتیک و بار دینامیک)، g = شتاب ثقل متر بر مجذور ثانیه هستند.

نتایج و بحث

همان‌طور که رابطه (۲۲) نشان می‌دهد با افزایش طول ضریب دبی کاهش می‌یابد ولی دبی عبوری افزایش می‌یابد که این موضوع (یعنی افزایش طول و بررسی تأثیرات آن) مبنای اساسی این پژوهش است. در این تحقیق در مجموع ۲۴۳ آزمایش روی ضریب دبی و تغییرات آن نسبت به طول و ارتفاع‌های مختلف در



به صورت معنی داری در بیشینه است. دلیل افزایش دبی عبوری همزمان با ایجاد کنگره‌های مرکب این است که بخشی از لایه جریان نزدیک‌شونده به سرریز از کنگره‌های مرکب (کنگره جدید ایجاد شده روی بال) زودتر تخلیه می‌شود و عاملی می‌شوند که لایه هوای محبوس در پای سرریز (که خود باعث کاهش دبی خروجی می‌شوند) از بین بروند و به تخلیه سریع‌تر جریان از روی سرریز کمک می‌کند که در نهایت منجر به افزایش دبی خروجی و بالا رفتن ضریب دبی جریان می‌شوند.

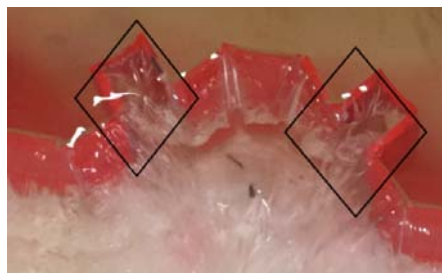
بررسی تغییرات ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای مرکب نیم‌دایره

رفتار این مدل سرریزها مشابه رفتار مرکب مربعی بوده با این توضیح که در WLCR نسبت ضریب دبی به‌طور کلی بیشتر از WLCS بوده و همچنین در سرریزهای مرکب نیم‌دایره‌ای با قطر بزرگ‌تر ضریب دبی‌ها بیشتر بوده و دبی عبوری آن نیز بیشتر است. دلیل بالاتر بودن دبی خروجی و ضریب دبی عبوری در کنگره‌های نیم‌دایره‌ای نسبت به سرریز با کنگره ای مربعی دو عامل است، اول اینکه جریان‌هایی که از دیواره سرریزهای کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای در پای سرریز ریزش می‌کنند مانند سرریزهای کنگره ای مربعی دارای گوشه‌ها و زوایای ۹۰ درجه نبوده، در نتیجه گردابه‌هایی که به علت این زوایا به وجود می‌آیند باعث کاهش دبی خروجی و حرکت سریع جریان از این کنگره‌ها به بیرون نمی‌شوند (شکل ۶- الف تا ج). عامل دوم تأثیرگذار این است که

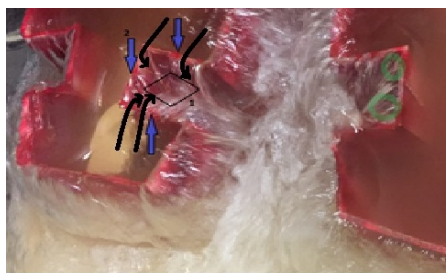
کنگره اضافه شده، قطر کنگره و طول اضافه شده صفر هستند. همان‌گونه که از جدول (۲) که به‌عنوان مثال و برای مقایسه کلی آورده شده‌اند مشخصات سه مدل را بازگو می‌کند که با یک ارتفاع ثابت ۲۰ و ضخامت دیواره ۰/۵ سانتی‌متری برای سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای و مرکب با کنگره‌های مربع و نیم‌دایره‌ای شکل با قطر ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر و همچنین با ۹ دبی مختلف (۹ آزمایش) را نشان می‌دهد.

تغییرات ضریب دبی در سرریزهای کنگره‌ای مرکب مربعی

با مقایسه سرریزهای مرکب مربعی که به‌عنوان نمونه سرریز با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر با زاویه‌های مختلف در شکل (۵) آورده شده است، تغییرات ضریب دبی‌ها دیده می‌شود، ضریب دبی‌های با زاویه ۳۱ درجه که طول کمتری (۱/۶۸ متر) دارند ضریب دبی بالاتری نسبت به سرریزها با زاویه ۱۷ درجه (۳/۳۸ متر) و ۳۱ درجه (۴/۱ متر) دارند، با توجه به این نکته که افزایش طول باعث کاهش ضریب دبی عبوری می‌شود منطقی است. جدول (۴) که به‌عنوان مثال آورده شده است تغییرات C_d و پارامترهای هیدرولیک جریان را نشان می‌دهد. به‌صورت کلی در سرریزهای کنگره‌ای مرکب مربعی (WLCS)، هر مقدار اندازه قطر مربعات بزرگ‌تر باشد البته تا اندازه‌ای که حداقل فاصله بین کنگره‌های جدید ایجاد شده روی بال رعایت شود و باعث تداخل جریان خروجی از آنها نشوند، دبی جریان عبوری بیشتر بوده و حتی دامنه ضریب دبی عبوری نسبت به سرریزهای دوزنقه‌ای ساده



ب



الف



د



ج

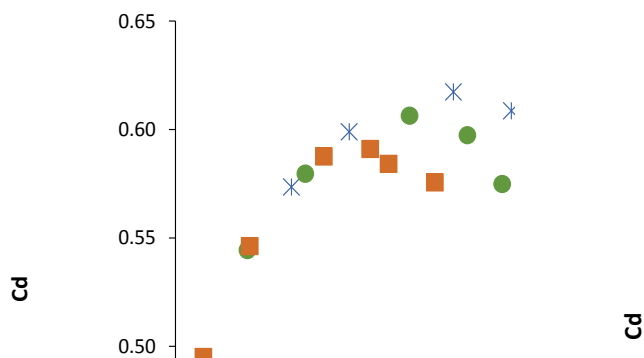
شکل ۶. الف، ب و ج) نشان‌دهنده گرداب‌های درون کنگره‌های مرکب و د) نشان‌دهنده کم شدن تداخل جریان در سرریزهای مرکب با دیواره کانال نسبت به سرریز کنگره‌ای ساده

بیشتر شده و حتی دامنه تغییرات ضریب دبی در این حالت بالاتر است، در یک مقایسه و یک نسبت H_t/p مشابه $0/40$ تا $0/310$ مقدار ضریب دبی در سرریز مرکب مربعی $0/3$ تا $0/51$ بود در صورتی که در حالت مرکب نیم‌دایره‌ای $0/43$ تا $0/66$ است که تقریباً حدود 28 درصد ضریب دبی بالاتری نسبت به حالت مرکب مربعی دارد که این افزایش به دلیل کاهش گردابه‌ای تشکیل شده و نبود زوایای شکست در کنگره‌های مرکب نیم‌دایره‌ای نسبت به مرکب مربعی است. در کنگره‌های مرکب مربعی به دلیل وجود زاویه‌های 90° در کنگره‌ها جریان ریزشی در پای سرریز جریان گردابه‌ای با هوای محبوس ایجاد می‌شود که باعث کاهش سرعت تخلیه جریان از کنگره‌ها می‌شود. همچنین دلیل دیگر دیوارهای موازی با جریان است، هراندازه دیوارهای موازی با جریان بیشتر باشد دبی عبوری کمتر می‌شود، در سرریزهایی با کنگره مرکب مربعی درصد دیوارهای موازی با جریان بیشتر از نیم‌دایره‌ای است، پس جریان عبوری کمتر بوده و ضریب دبی کاهش می‌یابد اما دیوارهای عمود بر جریان که در سرریزها با کنگره نیم‌دایره‌ای غالب هستند باعث

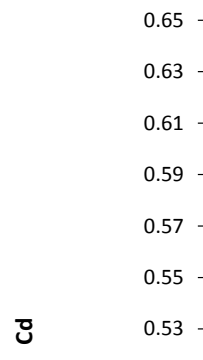
لایه جریانی که به سرریزهای مرکب مربعی می‌رسد در عبور از دیواره‌های موازی جریان ضعیف‌تر از دیواره‌های عمود بر جریان عمل می‌کند (شکل ۵- الف) پس در عمل در مقایسه با کنگره‌های نیم‌دایره‌ای از طول عمود بر جریان کمتری برای عبور جریان برخوردار هستند که باعث کاهش دبی عبوری می‌شود. در شکل (۶)، گزینه الف، که با (۴) نشان داده شده منطقه تشکیل گردابه و (۳) برای جریان است که مطابق شکل پیکان‌های عمود بر دیواره، جریان ورودی بیشتر را نشان می‌دهد.

بررسی تأثیرات طول، زاویه، ارتفاع و ضریب دبی WLCR و WLCS

در سرریزهای کنگره‌ای ذوزنقه‌ای مرکب نیم‌دایره‌ای (WLCR) مانند سرریزهای ذوزنقه‌ای کنگره‌ای مرکب مربعی (WLCS) نمودار تغییرات دبی عبوری و ضریب دبی رفتار مشابه هم را نشان می‌دهند با این تفاوت که در WLCR طول کلی سرریز کمتر بوده ضریب دبی آن به نسبت بالاتر می‌رود، همچنین تداخل تیغه‌های ریزشی جریان در WLCR کمتر بوده دبی جریان عبوری



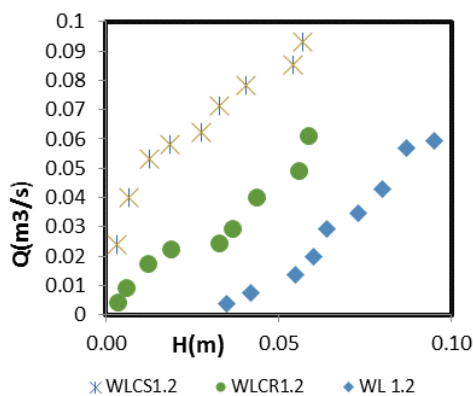
شکل ۸. مقایسه ضرایب دبی نسبت به H_t/p با ارتفاع ۱۵ سانتی متر



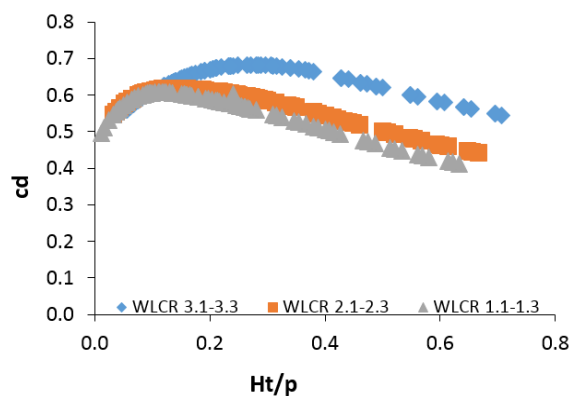
شکل ۷. مقایسه ضرایب دبی نسبت به H_t/p با ارتفاع ۲۵ سانتی متر

ارتفاع بیشتر لایه مجبوس در تراز پایین تر شکل می گیرد امکان ریزش جریان مقدورتر بوده و استغراق موضعی دیرتر و در محدوده H_t/p بالاتر شکل گیرد. در نتیجه سرریز با ارتفاع بیشتر، مقدار دبی عبوری در نتیجه ضریب دبی بیشتر خواهد داشت. در عین حال هر چقدر که عرض کنگره‌ها بیشتر باشد به شرط اینکه باعث تداخل جریان خروجی نشوند ضریب دبی افزایش می یابد. در ادامه به عنوان نمونه تعدادی مدل به صورت نمودار بررسی شده است. در شکل (۷) و (۸) نمودار مقایسه‌ای بین سه مدل سرریز ذوزنقه‌ای مرکب مربعی، نیم دایره‌ای و ساده است که با زاویه مساوی، قطر کنگره برابر و ارتفاع یکسان است را نمایش می دهد، همان طور که در شکل مشخص است ضریب دبی در شرایط تقریباً برابر $WL \leq WLCS \leq WLCR$ بوده است. اما در شکل (۷) که مدل‌هایی دارای ارتفاع سرریز بیشتری نسبت به شکل (۸) هستند، مقدار C_d آنها بیشتر شده است، این موضوع در این مقایسه به علت تأثیر افزایش ارتفاع بوده یعنی در سرریزهایی با ارتفاع بیشتر محل برخورد لایه‌های جریان که تقریباً در مرکز کنگره‌های مرکب اتفاق می افتد در تراز بالاتری نسبت به کف کانال بوده است که باعث کاهش تداخل لایه‌های جریان و همچنین کاهش محسوس استغراق موضعی احتمالی می شود لذا اندکی دارای ضریب دبی عبوری بیشتری هستند. مقایسه این پژوهش با مطالعات عمادی و همکاران که بازه مناسب طراحی را در H_t/p از ۰/۲ تا ۰/۴ برای جلوگیری از استغراق

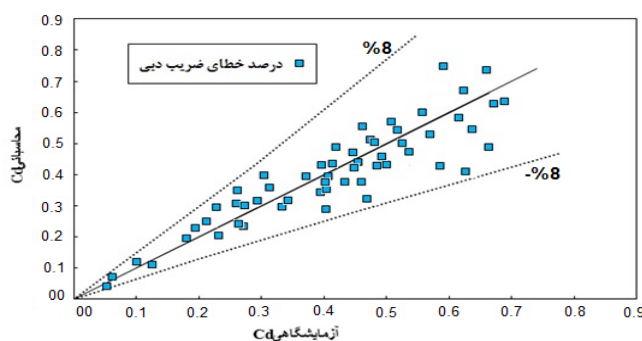
افزایش دبی عبوری در نتیجه افزایش ضریب دبی می شوند. همچنین تأثیر ارتفاع نیز مبین این واقعیت است که افزایش ارتفاع حدود ۱۲ درصد در برای افزایش ضریب دبی مفید بود که دلیل این رفتار استغراق پای سرریز است. با مقایسه تأثیر زوایا دو نکته حائز اهمیت می شود یکی بحث افزایش طول سرریز و دیگری بحث تداخل تیغه‌های ریزشی جریان، مشاهدات نشان می دهد در زوایای راس کمتر به دلیل تداخل بیشتر جریان در دیواره کناری کانال و همچنین در بین زوایا، مخصوصاً در رأس‌ها، ضریب دبی کاهش تقریباً ۱۰ درصد داشته و با کاهش زاویه که منجر به افزایش طول شده است در نتیجه ضریب دبی کاهش چشمگیر ۲۰ درصد را شاهد بوده، این رفتار جریان در H_t/p بیشتر از ۰/۴ ناشی از جریان ریزشی است و با افزایش شدت تیغه ریزشی جریان، در سرریزهای با ارتفاع کمتر زودتر دچار استغراق موضعی می شوند. مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد این استغراق در کنگره با ارتفاع کمتر همراه با برخورد لایه‌های جریان خروجی از دو سمت کنگره‌ها در تراز بالای سرریز و در محور مرکزی است، علاوه بر این که خود یک عامل تضعیف کنند هد خروجی جریان است همچنین باعث غلطاب (گردابه‌ها) با هوای مجبوس دقیقاً در زیر دو لایه برخوردی در مرکز کنگره مرکب می شود و باعث می شود قسمتی از جریان با بستر کانال برخورد نداشته و سرریز تبدیل به سرریز با مشخصات هیدرولیکی سرریز لبه پهن شود اما به دلیل اینکه در سرریز با



شکل ۱۰. تأثیر کنگره‌های جدید در WLCR



شکل ۹. نمودار دبی-اشل



شکل ۱۱. نمودار پراکندگی ضریب دبی مشاهداتی و ضریب دبی محاسباتی

شکل (۱۰) نشان‌دهنده میزان تغییرات کلی ضریب دبی (C_d) نسبت به H_t/p برای گروه WLCR است و بیان می‌کند که در سرریزهای مرکب نیم‌دایره‌ای ابتدا ضریب دبی افزایش یافته تا به نقطه اوج رسیده سپس کاهش می‌یابد اما ضریب دبی کل افزایش یافته و به مرز ۰/۷ می‌رسد یعنی بالا رفتن ضریب دبی را تأیید می‌کند. همچنین مدلی که دارای ارتفاع بیشتر باشد ضریب دبی آن بالاتر است.

در شکل (۱۱) مقایسه‌ای انجام شده بین مقادیر ضریب دبی مشاهداتی و ضریب دبی محاسباتی است، ضریب بالای همبستگی آنها خود مؤید دقت بالای تحقیق است و نشان می‌دهد که تحقیق از صحت‌سنجی با درصد بالایی برخوردار بوده است. به‌منظور بررسی عملکرد داده‌ها از دو شاخص آماری طبق خلاصه جدول (۳) هرچقدر مقدار این دو خطا به صفر نزدیک باشد، تناسب بهتر بین متغیرها رو تأیید می‌کند. ابتدا ۲۰

موضعی بیان می‌کند در این مدل سرریزها بهترین محدوده طراحی در بازه $0/3 \leq H_t/p \leq 0/15$ به‌دست می‌آید همچنین اسمعیلی ورکی شروع استغراق نسبی را از $H_t/p = 0/37$ بیان می‌کند که در این پژوهش $0/3$ به‌دست می‌آید.

شکل (۹)، به‌عنوان نماینده سه گروه اصلی مدل‌ها هستند و بیانگر رابطه دبی-اشل بوده و نشان می‌دهد که دبی‌های عبوری در سرریزهای دوزنقه‌ای مرکب نیم‌دایره‌ای بالاتر از مرکب مربعی بوده و مقدار دبی‌های عبوری هر دو سرریز در شرایط یکسان بالاتر از سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای ساده هستند و همچنین شکل (۹) بیان می‌کند که در سرریز چندوجهی مرکب مقدار دبی عبوری افزایش یافته در صورتی که ارتفاع جریان روی سرریز کاهش می‌یابد، لذا این دو موضوع به‌صورت همزمان و طبق رابطه (۱۰) باعث می‌شود که مقدار ضریب دبی عبوری افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۳. محاسبه مقدار خطا

مشاهداتی	A	N تعداد داده‌ها	A/N	اندیس خطا
$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_1^n (C_{d_{com}} - C_{d_{obs}})^2}{n}}$	$\sum_1^n (C_{d_{com}} - C_{d_{obs}})^2 = 2/8704$	۵۴	$\sqrt{A/N}$	RMSE=۰/۲۳۰
$MAE = \frac{\sum_1^n C_{d_{com}} - C_{d_{obs}} }{n}$	$\sum_1^n C_{d_{com}} - C_{d_{obs}} = 10/1736$	۵۴	A/N	MAE=۰/۱۸۸

این تحقیق مشاهده می‌شود که بیشتر شدن قطر کنگره‌ها و کاهش برخورد لایه‌های جریان ورودی که از دو طرف بال کنگره مرکب وارد می‌شوند باعث کم شدن تداخل لایه‌های جریان ورودی و افزایش سرعت تخلیه کنگره‌ها می‌شود و در نتیجه ضریب دبی افزایش می‌یابد. به طوری که بازه ضریب دبی از مرز ۰/۴ در سرریز کنگره‌ای به مرز ۰/۶۵ در سرریز مرکب می‌رسد. این افزایش ضریب دبی در سرریزهای دوزنقه‌ای مرکب با کنگره‌های اضافه شده نیم‌دایره‌ای بیشتر از سرریزهای مرکب مربعی شکل است. مشاهدات آزمایشگاهی و بررسی‌ها دلیل این مسئله را ایجاد گردابه‌های همراه با هوای محبوس که بیشتر در پای کنگره‌های مرکب مربعی به وجود می‌آیند و مانع از تخلیه سریع جریان خروجی می‌شوند توجیه می‌کند. این پژوهش نشان داده که افزایش ارتفاع سرریز به علت بالا رفتن تراز برخورد لایه‌های جریان ورودی در کنگره‌ها باعث ایجاد فاصله بین گردابه‌ها با هوای محبوس پای کنگره و لایه‌های جریان برخوردی می‌شوند، از استغراق موضعی و تبدیل شدن سرریز به سرریز لبه پهن جلوگیری کرده و دبی خروجی افزایش می‌یابد. نتایج تحلیل‌ها نشان داد دبی جریان عبوری از سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای مرکب نیز به علت افزایش نسبتاً زیاد طول مؤثر سرریز مرکب در یک عرض ثابت نسبت به دیگر مدل‌های سرریز خطی و کنگره‌ای افزایش چشمگیری پیدا می‌کند و دبی جریان عبوری حدود ۱۵ درصد نسبت به سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای افزایش دارد. در مجموع سرریزهای مرکب نسبت به سرریزهای کنگره‌ای

درصد از داده‌ها را به صورت تصادفی انتخاب و کنار گذاشته شده و با بررسی مابقی داده‌ها به کمک نرم‌افزار SPSS، رابطه خطی برای برای سرریزهای کنگره‌ای مرکب، ۸۰ درصد داده‌ها به صورت رابطه‌ای (۲۳) به دست آمده است.

$$C_d = -0/887 \frac{H_t}{P} - 0/01\alpha - 0/328N + 1/525 \quad (23)$$

همچنین با قرار دادن ۲۰ درصد باقیمانده داده‌ها در رابطه (۲۳) به صحت‌سنجی آن پرداخته و از معیارهای خطای میانگین ریشه مربعات (RMSE) و خطای قدر مطلق میانگین (MAE) استفاده شد و مقادیر خطای آنها به ترتیب ۰/۲۳۰ و ۰/۱۸۸ به دست آمده که مقادیر قابل قبولی هستند.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که فلسفه وجودی سرریزهای کنگره‌ای افزایش طول در یک عرض ثابت و محدود برای افزایش دبی جریان عبوری است، ایده استفاده از سرریزهای کنگره‌ای مرکب در همین راستا ارائه شده است. در سرریزهای چندوجهی مرکب، افزودن کنگره باعث افزایش طول کل سرریز در یک عرض ثابت می‌شود. مکانیسم کلی این مدل از سرریزها مشابه با سرریزهای چندوجهی معمول است. بدین صورت که ضریب دبی ابتدا افزایش یافته تا به یک نقطه ماکزیمم برسد بعد شروع به کاهش و ثابت شدن می‌کند. به طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد افزایش طول سرریز با افزایش قطر کنگره مرکب باعث بیشتر شدن دبی جریان عبوری و همچنین افزایش میزان ضریب دبی می‌شود. در بررسی‌های

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولان پژوهش دانشگاه آزاد اسلامی واحد یاسوج (ایران) برای قرار دادن آزمایشگاه هیدرولیک و رسوب دانشکده مهندسی عمران را در اختیار بنده و بقیه همکاران، صمیمانه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

معمول در بازه بزرگ‌تری از ضریب دبی قرار دارند. در آخر رابطه کلی استخراج شده از داده‌های آزمایشگاهی و صحت سنجی آن نشان داد که بیشترین تأثیرپذیری ضریب دبی ناشی از نسبت H_t/p ، تعداد سیکل و زاویه رأس سرریزها است.

منابع مورد استفاده

1. Crookston, B. M. and B. P. Tullis. 2013. Hydraulic design and analysis of labyrinth weirs. 2: nappe aeration, instability, and vibration. *Journal Irrigation and Drainage Engineering* 139(5): 371-378.
2. Darvas, L. A. 1971. Performance and design of labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Division ASCE* 8: 1246-1251.
3. Emadi, A. R. and M. Rezaei. 2015. Experimental study of rectangular labyrinth weirs. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)* 29(6): 1438-1446. (In Farsi).
4. Esmaili Varraki, M. and M. Safar Razavizadeh. 2012. Investigation of hydraulic characteristics of flow on semi-circular labyrinth weirs. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)* 27: 224-234. (In Farsi).
5. Hay, N. and G. Tailor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. *J. Hyd. Div. American Society of Civil Engineering. Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 96(2): 2337-2357.
6. Houston, K. 1983. Hydraulic Model Study of Hyrum auxiliary Labyrinth Spillway. Rep. No. GR-82-13, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
7. Houston, K. L. 1982. Hydraulic Model Study of the Ute Dam labyrinth Spillway. Rep. No GR-82-7, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
8. Hydarpor, M., F. Mosavi and A. R. Roshani Zarmehri. 2006. Investigation of U-shaped and rectangular plan of Labyrinth Weirs. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Isfahan University of Technology* 10(3): 1-11. (In Farsi).
9. Indlekofer, H. and G. Rouve. 1975. Discharge over polygonal weirs. *Journal of the Hydraulics Division* 101(HY3): 385-4017
10. Kumara, S., Z. Ahmada and T. Mansoorb. 2011. A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. *Flow Measurement and Instrumentation* 22: 175-180.
11. Lux III, F. and D. Hinchliff. 1985. Design and construction of labyrinth spillways. In: Proceeding of the 15th Congress ICOLD, Lausanne, Switzerland. PP: 249-274.
12. Lux, F. 1995. Design methodologies for labyrinth weirs. *International Water Power and Dam Construction* 1397-140121407.
13. Marashi, A. 2000. A study of the discharge coefficient in semi-circular labyrinth weirs. MSc. Thesis, Civil Engineering-Water Engineering, Tarbiat Modares University. (In Farsi).
14. Tulis, J. P., C. M. Willmori and J. S. Wolfhope. 2005. Improving performance of low-head labyrinth weirs. In: Proceeding of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress, MaMay 2005, Anchorage, Alaska
15. Tullis, B., J. Young and M. Chandler. 2007. Head-discharge relationships for submerged labyrinth weirs. *Journal of Hydraulic Engineering* 133(3): 248-254.
16. Tullis, J. P., N. Amanian and D. Waldorand. 1995. Design of labyrinth spillways. *Journal of Hydraulic Engineering* 121(247-2553).
17. Yasi, M. and M. Mohammadi. 2007. Investigation of trapezoidal plan of labyrinth weirs. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources of Isfahan University of Technology* 11: 1-12. (In Farsi).

An Experimental Study of the Discharge of the Length Increase Effect on the Composite Trapezoidal Labyrinth Spillway

H. Azarpeyvand^{1*}, A. R. Emadi¹ and M. Sedghi Asl²

(Received: June 14-2018 ; Accepted: October 15-2018)

Abstract

Labyrinth weirs are the economic structures to increase the weir output efficiency in limited widths, which can be seen in the plane of trapezoidal and triangular forms. These weirs with a hydraulic load and fixed width pass the more discharge in comparison to other type of weirs. In this study, labyrinth weirs trapezoidal in plane form were investigated. The experiments were performed on 27 laboratory models with 9 different discharge rates and a total of 243 tests. The results showed that, in all of the composite trapezoidal labyrinth weirs, the ratio of discharge coefficient to H_t/p (H_t : Total hydraulic load and p : weir length) weir length was increased at first; after reaching the maximum rate, it started to decrease. According to the suggested general relation, the utmost impact on discharge coefficient resulted from the cycle number and H_t/p relation. Creating new labyrinth on the wing of the weir led to the increase of the effective length; as a result of it, the discharge rate increased in a specific amount of H_t/p . Also, the discharge through a trapezoidal labyrinth weir with the semicircular planform was better than the square; the square, in turn, was better than the simple trapezoidal weirs.

Keywords: Labyrinth weirs, Effective length, Discharge coefficient, Hydraulic load, Composite labyrinth weirs

1. Department of Irrigation, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Yasouj University, Yasouj, Iran.

*: Corresponding Author, Email: h.azarpayvand64@yahoo.com