

تعیین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی در اثر شیب وجه‌های بالادست و پایین دست

مهسا اسکویی^۱، علیرضا عمادی^{۲*} و علی شاهنظری^۳

۱، ۲ و ۳- به ترتیب: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد؛ و دانشیاران گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۹/۹، تاریخ پذیرش: ۹۷/۳/۵

چکیده

سرریزهای کنگره‌ای به‌عنوان گزینه مناسب برای رفع مشکل سرریزها در مقابل حداکثر دبی عبوری مطرح می‌باشند. در این پژوهش ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با ۴ شیب مختلف در ۲ وجه بالادست و پایین دست، به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. زاویه شیب سرریزها از حالت سرریز کنگره‌ای مستطیلی بدون شیب به زاویه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به رأس تاج سرریز تغییر یافت. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که در سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه‌های بالادست و پایین دست با افزایش پارامتر بدون بعد H_i/P ، از میزان ضریب دبی سرریز کاسته می‌شود. همچنین نتایج نشان داد با ایجاد شیب تاج سرریز کنگره‌ای مستطیلی در وجه بالادست، ضریب دبی سرریز نسبت به حالت بدون شیب کاهش می‌یابد. در وجه پایین دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی متناسب با میزان شیب نسبت به تاج سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد. علاوه بر آن مشخص شد که در محدوده آزمایش، در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجه‌های بالادست و پایین دست شیب‌دار، افزایش طول مؤثر سرریز باعث کاهش ضریب دبی می‌شود. همچنین افزایش ارتفاع سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجه‌های بالادست و پایین دست شیب‌دار، ضریب دبی سرریز را افزایش می‌دهد. در نهایت معادله ضریب دبی بر اساس پارامترهای بدون بعد مؤثر در این پژوهش ارائه شد.

واژه‌های کلیدی

ارتفاع آب بالادست، شکل تاج، مدل آزمایشگاهی، هیدرولیک

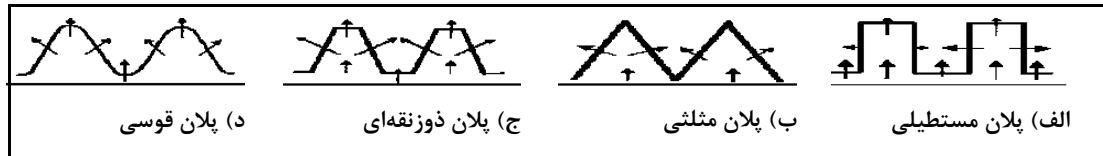
مقدمه

تأمین، انتقال و توزیع آب نگرسته و تلاش شود، تا از هدررفت آن جلوگیری به عمل آید. بنابراین به‌منظور مصرف بهینه منابع آب در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مبحث اندازه‌گیری جریان یکی از موضوع‌های مهم مورد بررسی می‌باشد. یکی از سازه‌های اندازه‌گیری دبی جریان و همچنین کنترل سطح آب در شبکه‌های آبیاری، سرریز می‌باشد. دقت و سهولت اندازه‌گیری دبی در شرایط مختلف جریان سبب طراحی شکل‌های مختلف سرریز شده است. متداول‌ترین تقسیم‌بندی سرریزها بر اساس شکل و

در شرایطی که تقریباً تمامی کشورهای دنیا با بحران خشک‌سالی مواجه هستند، کشور ما نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. کشور ایران به دلیل شرایط خاص اقلیمی و آب و هوایی، طی سال‌های اخیر، با مشکل کمبود آب مواجه بوده که این امر، لزوم حفاظت از منابع آبی، کاهش اتلاف آب و دقت در مصرف بهینه را دوچندان نموده است. همچنین با توجه به رشد جمعیت و توسعه کشاورزی و صنعت، لازم است با دید کارشناسی به مسئله

تاج غیرمستقیم می‌توان به سرریزهای کنگره‌ای اشاره کرد که با توجه به نمای از بالا، در چهار مدل مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و قوسی وجود دارند. شکل ۱ سرریزهای کنگره‌ای را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد.

ضخامت تاج سرریز می‌باشد. سرریزها بر اساس شکل تاج در عرض رودخانه به دو گروه سرریزهای مستقیم و غیر مستقیم و بر اساس ضخامت تاج به دو گروه سرریزهای لبه‌تیز و لبه‌پهن تقسیم شده‌اند. از سرریزهای با



شکل ۱- سرریزهای کنگره‌ای در حالت‌های مختلف

شده در زمینه تأثیر شیب وجه سرریز بر عملکرد هیدرولیکی آن عموماً مربوط به سرریزهای لبه‌پهن مستطیلی و اوجی می‌باشد. فرهودی و شاه‌علمی (Farhoudi & Shah-Alami, 2005) به بررسی اثر شیب وجه بالادست بر ضریب تخلیه سرریز لبه‌پهن مستطیلی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که شیب وجه بالادست در ضریب تخلیه سرریز اثر گذاشته، به طوری که با شیب‌دار شدن وجه بالادست راندمان تخلیه افزایش می‌یابد. ملت (Mellat, 2005) با بررسی اثر شیب کف پایین‌دست در یک سرریز کنگره‌ای نشان داد که برای سرریزهای کنگره‌ای مثلثی، وقتی ارتفاع هیدرولیکی متوسط یا کم است، ضریب دبی با افزایش شیب در پایین‌دست کاهش می‌یابد. در سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای، ارتباطی بین ضریب دبی و شیب پایین‌دست سرریز مشاهده نشد. شکری و همکاران (Shokri et al., 2008) به بررسی تأثیر شیب‌دار کردن وجه‌های بالادست و پایین‌دست سرریزهای لبه‌پهن مستطیلی بر ضریب دبی و مشخصات جریان پرداختند. نتایج آنها نشان داد که ضریب دبی جریان سرریز با شیب پایین‌دست تقریباً ثابت می‌ماند در حالی که با تغییر شیب وجه بالادست سرریز، ضریب دبی جریان در نتیجه ظرفیت تخلیه سرریز افزایش می‌یابد. آندرسون (Anderson, 2011) با بررسی روابط مربوط به دبی عبوری

فرضیه اصلی در طرح کنگره‌ای سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با طول تاج ثابت و به‌ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز می‌باشد (Azhdarimoghadam et al., 2010). از مزایای این سرریزها در مقایسه با سایر سرریزهای استاندارد می‌توان به عبور مقدار جریان زیاد با تغییرات ناچیز ارتفاع آب عبوری از روی سرریز، امکان افزایش طول مؤثر هیدرولیکی سرریز برای عرض محدود جریان، فراهم کردن حداقل نوسان جریان از دهانه آبگیر کانال و عدم وقوع استغراق تا ارتفاع آب خیلی زیاد اشاره نمود (Banihashemi & Mehrani, 2008). سرریزهای کنگره‌ای از سال ۱۹۲۰ ساخته شده‌اند، اما مطالعات عملکرد هیدرولیکی آنها از سال ۱۹۶۸ آغاز شده است (Hajimohamadi et al., 2012). یکی از زمینه‌های مطالعه سرریز کنگره‌ای، بررسی عوامل مؤثر بر ضریب دبی آن می‌باشد. توجه به این نکته ضروری است که این مشخصه از جریان خود تحت تأثیر پارامترهای متعددی است و یک تغییر در پارامترهای طراحی استاندارد نظیر تغییر در شرایط جریان بالادست و پایین‌دست می‌تواند ضریب دبی را تغییر دهد. برای ایجاد تغییر در شرایط جریان بالادست و پایین‌دست سرریز از جمله کارهایی که می‌توان انجام داد شیب‌دار کردن وجوه سرریز می‌باشد. پژوهش‌های انجام

تعیین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی...

وجه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی با استفاده از مدل آزمایشگاهی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

رابطه دبی در سرریز کنگره‌ای

معادله یک بعدی جریان روی سرریزهای کنگره‌ای به روش تحلیل ریاضی (با حل معادلات پیوستگی و انرژی)، به صورت رابطه ۱ می‌باشد (Tullis *et al.*, 1995).

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H_t^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

که در آن،

Q = دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای (متر مکعب بر ثانیه)؛
 C_d = ضریب دبی؛ L = طول مؤثر سرریز (متر)؛ H_t = ارتفاع کل آب روی سرریز (متر)؛ و g = شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه).

تحلیل ابعادی

به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست، تحلیل ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شد. رابطه ۲ دروازه پارامتر هندسی، سینماتیکی و دینامیکی مؤثر بر این پژوهش را نشان می‌دهد.

$$(P, L, W_f, t, \theta, H, V, g, \sigma, \mu, \rho, C_d) = 0 \quad (2)$$

که در آن،

P = ارتفاع سرریز؛ L = طول مؤثر تاج؛ W_f = عرض کانال؛
 t = ضخامت دیواره سرریز؛ θ = درجه شیب؛ H = ارتفاع آب روی سرریز در بالادست سازه؛ v = سرعت جریان عبوری از سرریز؛ g = شتاب ثقل؛ σ = کشش سطحی؛ μ = لزوجت دینامیکی سیال؛ و ρ = جرم مخصوص سیال.

از سرریز کلید پیاپویی نشان داد که متناسب با شیب‌دار شدن وجه بالادست، ضریب دبی کاهش یافته و شیب‌دار شدن وجه پایین‌دست باعث افزایش ضریب دبی و دبی عبوری از سرریز در نسبت H/P تقریباً بیشتر از ۰/۲۵ می‌شود. وکیلی و همکاران (Vakili *et al.*, 2011) با بررسی عددی تأثیر شیب و انحناى وجه بالادست سرریز اوجی روی الگوی جریان نشان دادند که تغییر هندسه سرریز باعث تغییر توزیع فشار بر تاج و میزان دبی عبوری از آن می‌شود، به طوری که ایجاد شیب در وجه بالادست سرریز اوجی باعث افزایش ضریب دبی و راندمان تخلیه این سرریز می‌شود. گودرزی و همکاران (Goodarzi *et al.*, 2012) نشان دادند که متناسب با کاهش شیب وجه بالادست سرریز لبه‌پهن مستطیلی، ضریب دبی جریان و در نتیجه ظرفیت تخلیه سرریز، افزایش می‌یابد. عظیمی و همکاران (Azimi *et al.*, 2013) به بررسی اثر شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست بر ضریب تخلیه سرریز با طول تاج محدود پرداختند. نتایج آنها نشان داد که در سرریز لبه‌پهن، شیب وجه بالادست بیشترین اثر را بر ضریب تخلیه دارد و شیب وجه پایین‌دست کمترین اثر بخشی را روی ضریب تخلیه به خود اختصاص می‌دهد. حمزه‌ای و همکاران (Hamzei *et al.*, 2013) با بررسی اثر شیب وجوه بالادست و پایین‌دست سرریز لبه‌پهن بر مشخصات جریان به روش عددی نشان دادند که با شیب‌دار کردن وجه بالادست سرریز، محدوده جدایی جریان ابتدای تاج کاهش یافته و در نتیجه ضریب دبی افزایش می‌یابد، تغییر شیب وجه پایین‌دست اثری بر ناحیه جدایی جریان ابتدای تاج و ضریب دبی نخواهد داشت. با توجه به اینکه تأثیر شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست در سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی تاکنون بررسی نشده است و انتظار می‌رود بر عملکرد هیدرولیکی این سرریز تأثیرگذار باشد، هدف از این پژوهش ارزیابی اثر شیب

در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شد. فلوم دارای ابعادی برابر با طول ۱۲ متر، ارتفاع ۰/۸ متر، عرض ۰/۵ متر، کف و دیواره‌هایی از جنس شیشه‌های شفاف می‌باشد. در قسمت ورودی این فلوم مخزنی وجود دارد که آشفتگی جریان آبی که از پمپ‌های گریز از مرکز وارد می‌شود، را می‌گیرد و جریان آرامی را وارد فلوم می‌کند. آزمایش‌ها در محدوده دبی ۱۰ تا ۷۰ لیتر بر ثانیه از دبی زیاد به کم و از نوع جریان آزاد اجرا شد. برای اندازه‌گیری جریان عبوری در قسمت خروجی فلوم، سرریز مثلی نصب شد که قبل از شروع آزمایش‌ها به‌صورت حجمی واسنجی شد و رابطه دبی-اشل برای آن به‌دست آمد. جدول ۱ محدوده پارامترهای مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

در این بررسی از روش باکینگهام برای تعیین پارامترهای بی‌بعد استفاده شد. پارامترهای ارتفاع آب بالادست، سرعت و چگالی به‌عنوان متغیر تکراری در نظر گرفته شد. با توجه به آشفته بودن جریان و رعایت حداقل ارتفاع آب روی سرریز (۳ سانتی‌متر)، در نهایت ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست به‌صورت تابعی از پارامترهای بی‌بعد رابطه ۳ ارائه شد.

$$C_d = f\left(\frac{H}{P}, \frac{H}{L}, \frac{H}{W_f}, \frac{H}{t}, Fr, \theta\right) \quad (3)$$

تجهیزات آزمایشگاهی

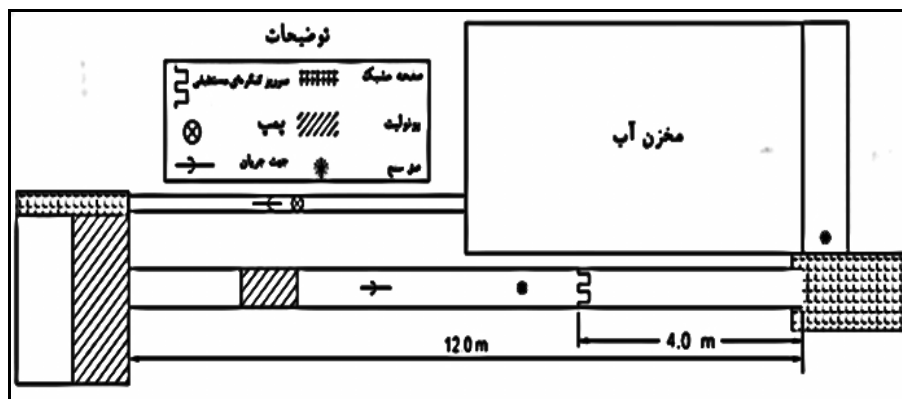
آزمایش‌ها به‌وسیله فلومی مستطیل شکل و شیب‌پذیر

جدول ۱- محدوده پارامترهای مورد استفاده در پژوهش

H/P	H/t	H/L	H/W	Fr	Q	پارامتر
۰/۰-۰۲/۰۷	۴/۱۲-۲/۴	۰/۰-۰۲/۱	۰-۰/۰۲	۰/۰-۰۳/۰۸	L/S ۷۰-۱۰	محدوده

در این پژوهش، در مجموع ۶۰۰ آزمایش روی مدل‌های مختلف سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست متغیر انجام شد. شکل ۲ نمای از بالا سیستم گردش آب در فلوم آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

سرریزهای مورد آزمایش در چهار متری بالادست خروجی فلوم نصب شد. برای محاسبه دبی، ارتفاع آب بالادست سرریز مثلی و یک متری بالادست محل نصب سرریز مورد آزمایش با استفاده از عمق‌سنج با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر قرائت گردید.

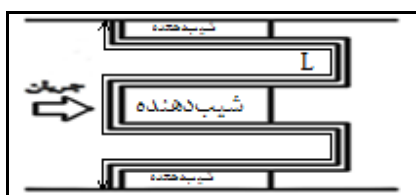


شکل ۲- نما از بالا سیستم گردش آب در فلوم

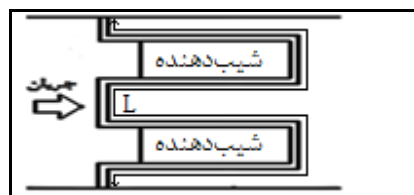
تعیین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی...

زاویه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ نسبت به رأس تاج سرریز تغییر یافت. شکل‌های ۳ و ۴ به ترتیب پلان سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست و شکل‌های ۵ و ۶ نمایی از زاویه شیب در وجه‌های بالادست و پایین‌دست را نشان می‌دهند.

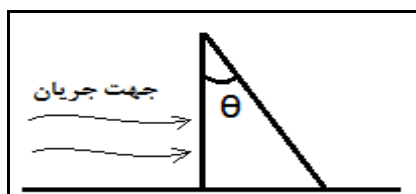
در مجموع تعداد ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با طول مؤثر و ارتفاع‌های متفاوت مورد آزمایش قرار گرفتند. لبه تاج سرریز به وسیله دستگاه لبه‌گیر به شکل ربع دایره با شعاع برابر با ضخامت دیواره سرریز برش داده شد. زاویه‌های شیب در وجه از حالت سرریز بدون شیب به



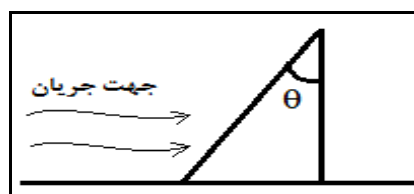
شکل ۴- پلان سرریز با شیب وجه پایین‌دست



شکل ۳- پلان سرریز با شیب وجه بالادست



شکل ۶- نمایی از شیب وجه پایین‌دست



شکل ۵- نمایی از شیب وجه بالادست

نمود. جدول ۲ اندازه مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

در ساخت مدل‌ها سعی شد سطح تماس آن با جریان صاف و صیقل باشد تا بتوان از اثر زبری سطح صرف‌نظر

جدول ۲- مشخصات هندسی سرریز کنگره‌ای مستطیلی

سرریز	طول مؤثر (L) (سانتی‌متر)	ارتفاع (P) (سانتی‌متر)	عرض سیکل (سانتی‌متر)	ضخامت دیواره (سانتی‌متر)
۱	۱۶۷/۵	۱۵	۲۵	۱
۲	۱۰۷/۵	۲۵	۲۵	۱
۳	۱۵۰	۲۰	۲۵	۱
۴	۱۲۷/۵	۱۵	۲۵	۱
۵	۱۰۷/۵	۱۵	۲۵	۱

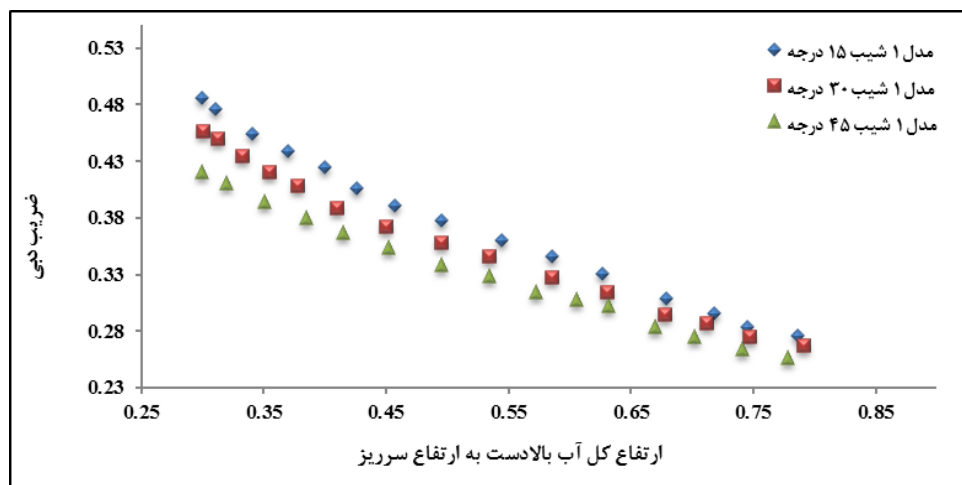
۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه به ترتیب در وجه‌های بالادست و پایین‌دست نشان می‌دهند. روند تغییرات ضریب دبی برای هر ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی مشابه می‌باشد. با توجه به شکل‌ها مشاهده شد با افزایش پارامتر بدون بعد H_i/P در حالت شیب وجه‌های

نتایج و بحث

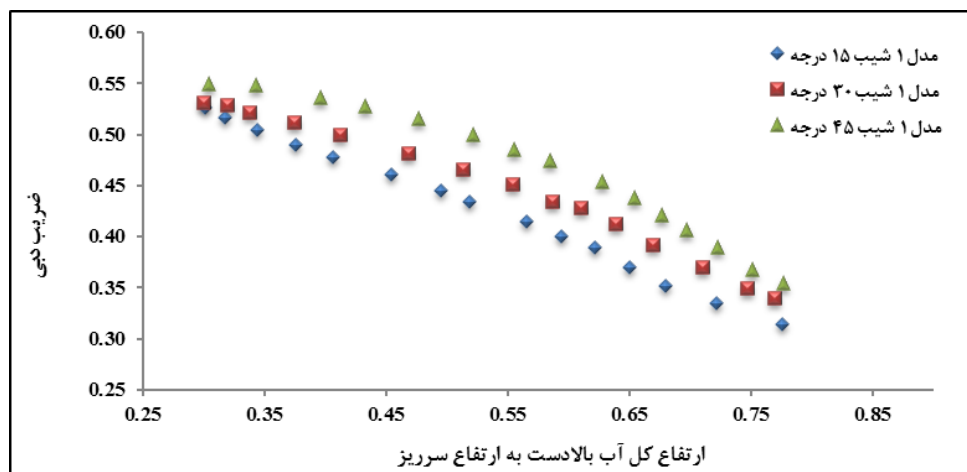
بررسی تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد (H_i/P) در دبی‌های مختلف شکل‌های ۷ و ۸ تغییرات ضریب دبی را بر حسب پارامتر بدون بعد H_i/P برای مدل ۱ با شیب‌های

کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه بالادست حدود ۱۲ درصد و برای سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه پایین‌دست حدود ۱۳ درصد به دست آمد. نتایج حاصل در این بخش با نتایج کاسیدی و همکاران (Cassidy *et al.*, 1985) که نشان دادند افزایش ارتفاع آب بالادست راندمان هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای و مثلثی را کاهش می‌دهد، هم‌خوانی دارد.

بالادست و پایین‌دست، ضریب دبی کاهش می‌یابد. دلیل این امر به این صورت بیان می‌شود که با افزایش پارامتر بدون بعد H_i/P ارتفاع آب بالادست سرریز افزایش یافته و تداخل جت‌های آب سیکل کنار یکدیگر بیشتر می‌گردد، در نتیجه باعث کاهش ضریب دبی و کاهش راندمان هیدرولیکی مدل می‌شود. میزان کاهش ضریب دبی در محدوده این پژوهش برای سرریز



شکل ۷- ضریب دبی در برابر H_i/P (شیب بالادست)



شکل ۸- ضریب دبی در برابر H_i/P (شیب پایین‌دست)

(H_i/L) را برای مدل‌های ۲ و ۵ که تمامی مشخصات هندسی دو مدل یکسان، اما ارتفاع مدل ۲، ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع مدل ۵، ۱۵ سانتی‌متر می‌باشد، به ترتیب با شیب

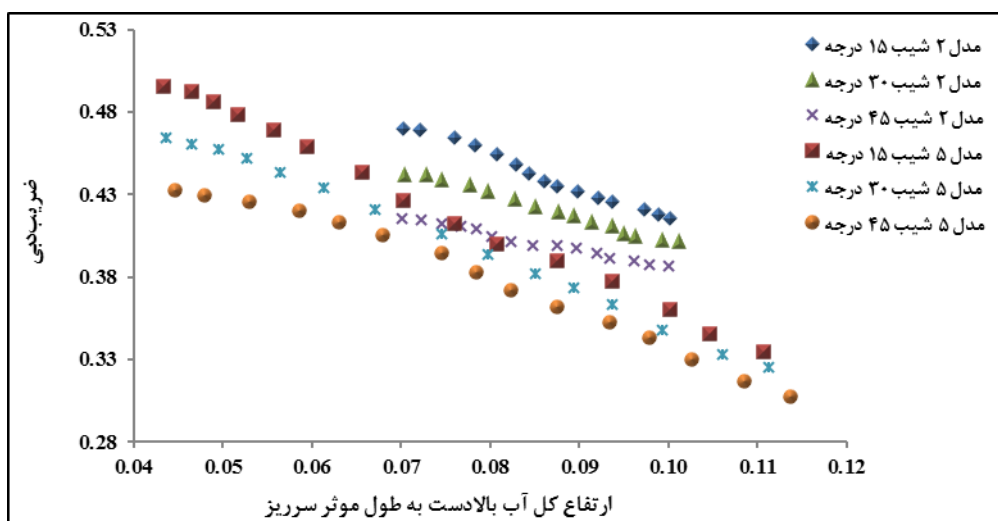
بررسی تأثیر تغییر ارتفاع سرریز بر ضریب دبی شکل‌های ۹ و ۱۰ تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت ارتفاع کل آب بالادست به طول مؤثر سرریز

تعیین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی...

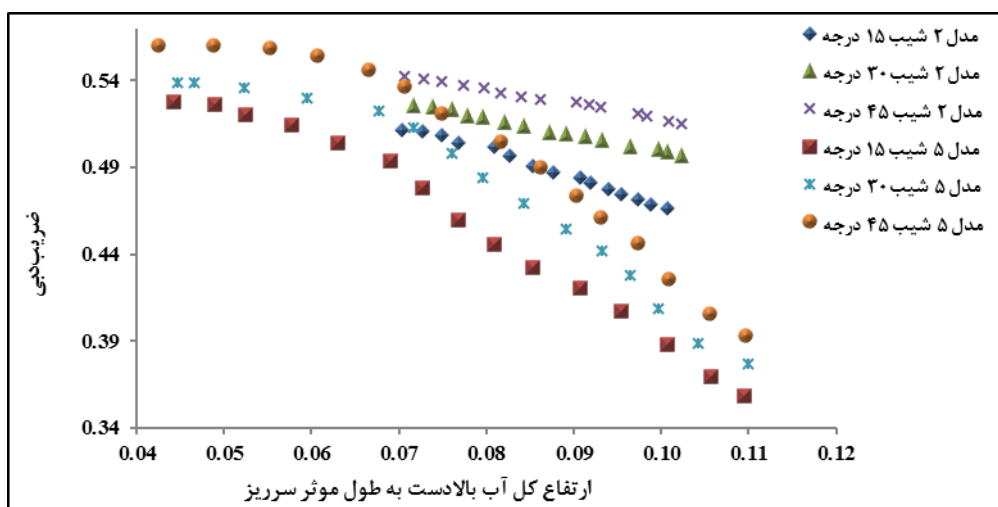
پایین‌دست ضریب دبی مدل ۲ حدود ۱۷ درصد بیشتر از مدل ۵ می‌باشد. علت این امر را می‌توان این‌گونه بیان کرد که در یک ارتفاع آب بالادست ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز، پارامتر بدون بعد H_i/P به دلیل افزایش مخرج کسر کاهش می‌یابد، در نتیجه ضریب دبی افزایش پیدا می‌کند. نتایج این بخش با نتایج رضایی (Rezaee, 2013) که افزایش ضریب دبی با افزایش ارتفاع سرریز کنگره‌ای مستطیلی در یک ارتفاع ثابت آب بالادست را نشان داد، هم‌خوانی دارد.

وجه‌های بالادست و پایین‌دست نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ مشخص شد در یک ارتفاع آب بالادست ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجه‌های بالادست و پایین‌دست شیب‌دار، ضریب دبی افزایش می‌یابد، در نتیجه باعث افزایش راندمان هیدرولیکی مدل می‌شود.

نتایج مدل‌ها با شیب وجه بالادست نشان داد که در یک ارتفاع آب بالادست مشخص، ضریب دبی مدل ۲ به‌طور میانگین حدود ۱۶ درصد بیشتر از مدل ۵ و با شیب وجه



شکل ۹- ضریب دبی در برابر H_i/L (شیب بالادست)

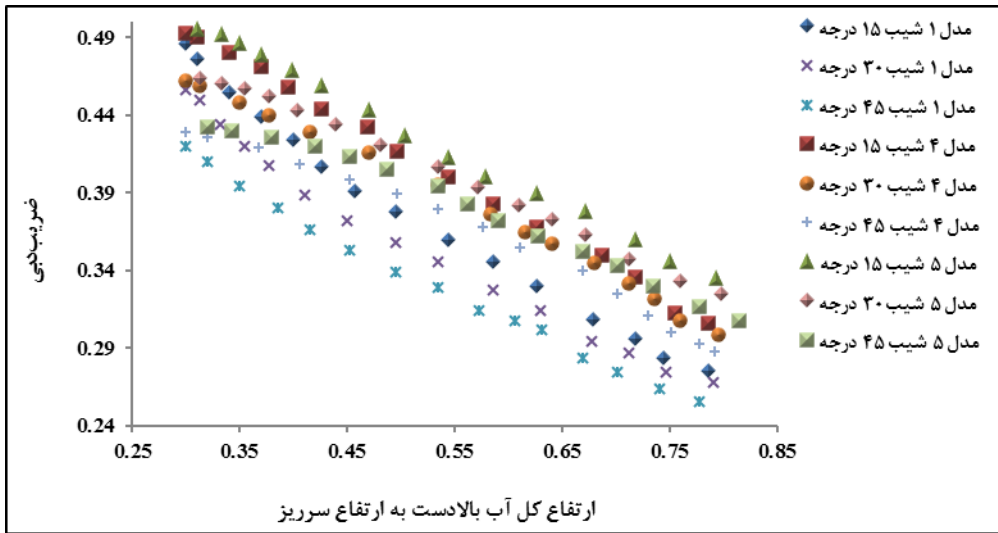


شکل ۱۰- ضریب دبی در برابر H_i/L (شیب پایین‌دست)

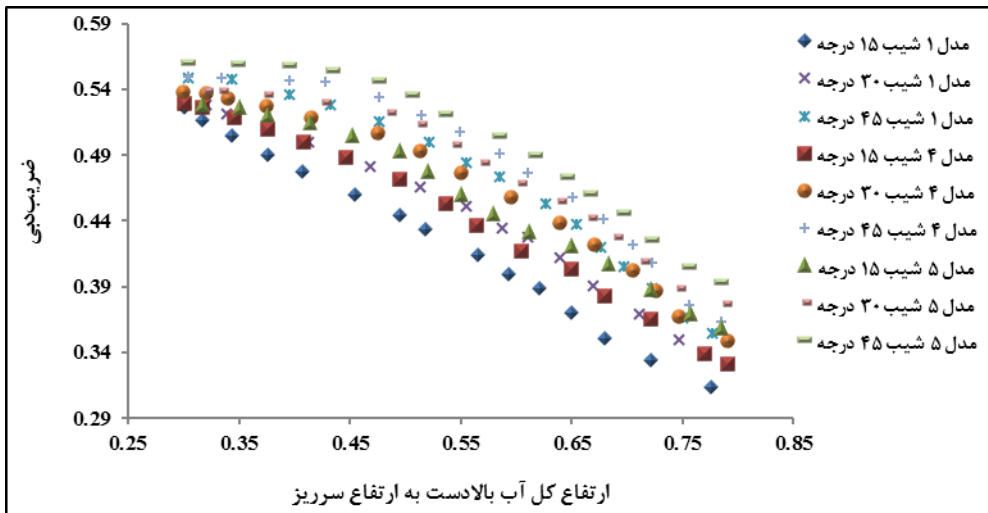
بررسی تأثیر تغییر طول دماغه سرریز بر ضریب دبی

شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت ارتفاع کل آب بالادست به ارتفاع سرریز برای مدل‌های ۱، ۴ و ۵ با شیب‌های مختلف وجه‌های بالادست و پایین‌دست را نمایش می‌دهند. با توجه به جدول ۱ می‌توان دریافت که تمامی مشخصات هندسی این سه مدل یکسان است، اما طول مؤثر مدل به ترتیب در آنها از ۱/۶۷۵ متر به ۱/۲۷۵ و ۱/۰۷۵ متر کاهش پیدا می‌کند. با توجه به شکل‌ها مشخص شد که در

H_t/P تقریباً برابر ۰/۳ ضریب دبی در مدل‌ها به ی‌کدیگر بسیار نزدیک می‌باشد، این امر می‌تواند به دلیل اثر کشش سطحی باشد که در این محدوده افزایش پیدا می‌کند. با افزایش H_t/P اختلاف در مقدار ضریب دبی مدل‌ها افزایش می‌یابد. در محدوده H_t/P بیشتر از ۰/۳ ضریب دبی در مدل ۵ (با طول مؤثر ۱/۰۷۵ متر) بیشتر از مدل ۴ (با طول مؤثر ۱/۲۷۵ متر) و در این دو مدل بیشتر از مدل ۱ (با طول مؤثر ۱/۶۷۵ متر) می‌باشد.



شکل ۱۱- ضریب دبی در برابر H_t/P (شیب بالادست)



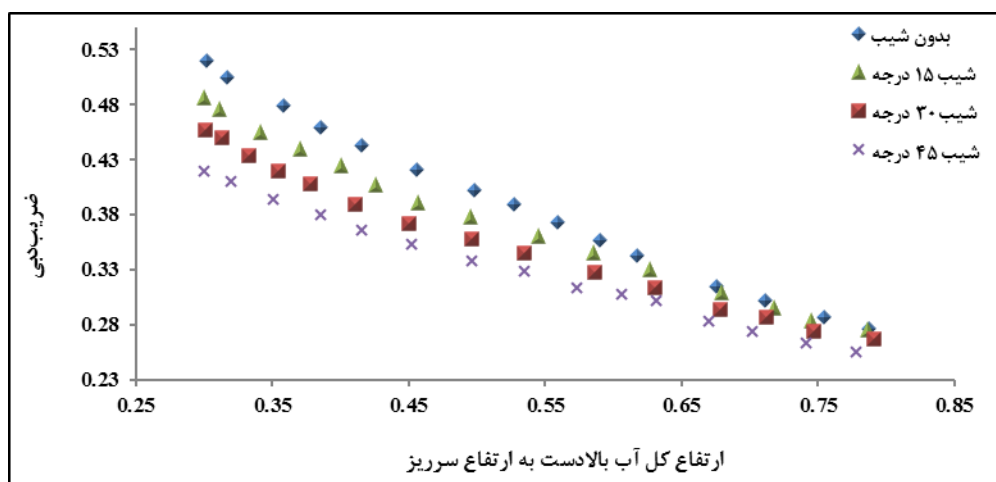
شکل ۱۲- ضریب دبی در برابر H_t/P (شیب پایین‌دست)

یکی از مدل‌های مورد آزمایش نشان می‌دهند. روند تغییرات ضریب دبی برای هر ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی مشابه این شکل‌ها می‌باشد. با توجه به شکل ۱۳ که بر اساس تغییرات ضریب دبی بر حسب پارامتر بدون بعد H/P رسم شده است، مشخص شد متناسب با افزایش شیب در وجه بالادست سرریز کنگره‌ای مستطیلی ضریب دبی کاهش می‌یابد. در حالی که نتایج پژوهشگران پیشین در زمینه سرریزهای لبه پهن مستطیلی و اوجی حاکی از آن است که متناسب با شیب‌دار شدن وجه بالادست ضریب دبی و در نتیجه راندمان تخلیه افزایش می‌یابد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده می‌توان کاهش ضریب دبی در سرریز کنگره‌ای مستطیلی را به دلیل افزایش نیروی اصطکاک در اثر ایجاد شیب در وجه بالادست بیان نمود. نتایج مربوط به شیب ۴۵ درجه وجه بالادست نشان داد، در ابتدا که ارتفاع آب روی سرریز کم می‌باشد، ضریب دبی حدود ۲۵ درصد نسبت به حالت بدون شیب سرریز کنگره‌ای مستطیلی کاهش می‌یابد. در نسبت‌های مختلف H/P میزان کاهش ضریب دبی برای حالت شیب‌دار وجه بالادست سرریز کنگره‌ای مستطیلی نسبت به حالت بدون شیب متفاوت می‌باشد. میزان کاهش ضریب دبی در شیب ۴۵ درجه وجه بالادست نسبت به حالت بدون شیب سرریز حدود ۱۹ درصد به دست آمد.

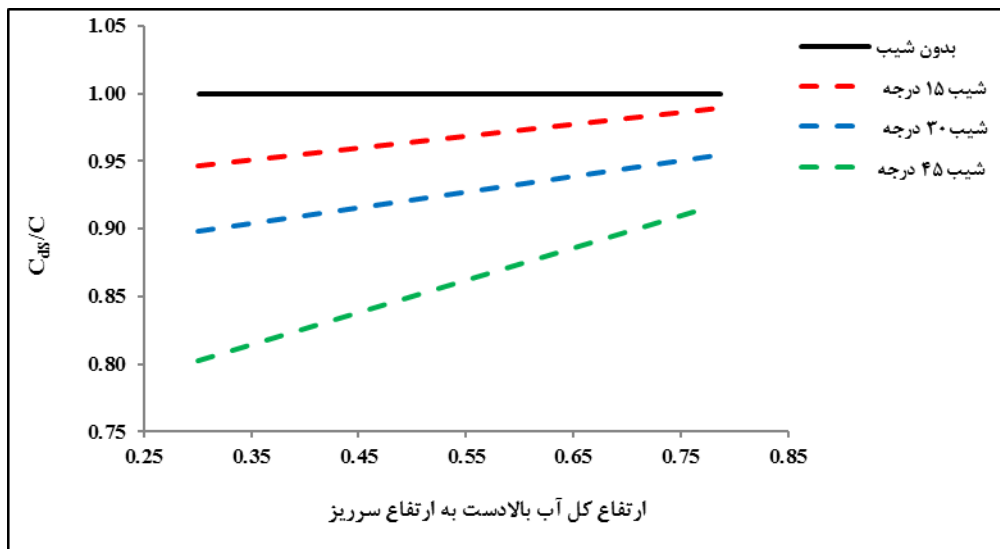
همان‌طور که مشخص شد شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان‌دهنده کاهش ضریب دبی در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست هستند که این کاهش ناشی از افزایش طول مؤثر سرریز در محدوده آزمایش می‌باشد. در محدوده H/P بیشتر از $0/3$ در سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه بالادست، ضریب دبی در مدل ۱ (با طول مؤثر $1/675$ متر) حدود ۱۳ درصد از مدل ۴ (با طول مؤثر $1/275$ متر) و حدود ۱۷ درصد از مدل ۵ (با طول مؤثر $1/075$ متر) کمتر می‌باشد. همچنین در سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه پایین‌دست، ضریب دبی در مدل ۱ (با طول مؤثر $1/675$ متر) حدود ۱۰ درصد از مدل ۴ (با طول مؤثر $1/275$ متر) و حدود ۱۳ درصد از مدل ۵ (با طول مؤثر $1/075$ متر) کمتر به دست آمد. نتایج حاصل با نتایج مطالعه میرناصری (Mimaseri, 2013) روی مدل ترکیبی سرریز کنگره‌ای درپچه در محدوده H/P بیشتر از $0/3$ هم‌خوانی دارد.

بررسی تأثیر شیب وجه بالادست بر ضریب دبی

در این بخش به منظور مقایسه ضریب دبی در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجه بالادست شیب‌دار با سرریز کنگره‌ای مستطیلی (بدون شیب) شکل‌های ۱۳ و ۱۴ رسم شدند. شکل‌های یاد شده روند تغییرات را برای



شکل ۱۳- ضریب دبی در برابر H/P (شیب بالادست)



شکل ۱۴- ضریب دبی در برابر H_t/P (شیب بالادست)

بررسی تأثیر شیب وجه پایین دست بر ضریب دبی

شکل‌های ۱۵ و ۱۶ تغییرات ضریب دبی بر حسب پارامتر بدون بعد H_t/P را به منظور تحلیل و بررسی تأثیر ایجاد شیب در وجه پایین دست سرریز بر مشخصات جریان در یک سرریز کنگره‌ای مستطیلی نشان می‌دهند. روند تغییرات ضریب دبی برای هر ۵ مدل مشابه می‌باشد. با توجه به شکل ۱۵ مشخص شد که با شیب‌دار کردن وجه پایین دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی میزان ضریب دبی افزایش می‌یابد. در حالی که پژوهشگران پیشین نشان دادند در سرریز لبه پهن مستطیلی تغییر شیب وجه پایین دست کمترین اثر بخشی را روی ضریب تخلیه دارد. با توجه به آزمایش‌های انجام شده می‌توان افزایش ضریب دبی در سرریز کنگره‌ای مستطیلی را به علت کاهش محدوده تداخلی جت آب سیکل‌های مجاور در اثر ایجاد شیب وجه پایین دست بیان نمود. به منظور بررسی بهتر اثر شیب وجه پایین دست سرریز بر ضریب دبی، شکل ۱۶ رسم شد. که این شکل تغییرات پارامتر بدون بعد نسبت ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجه پایین دست شیب‌دار به ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی بدون شیب (C_{ds}/C_d) را بر حسب پارامتر بدون بعد H_t/P نشان

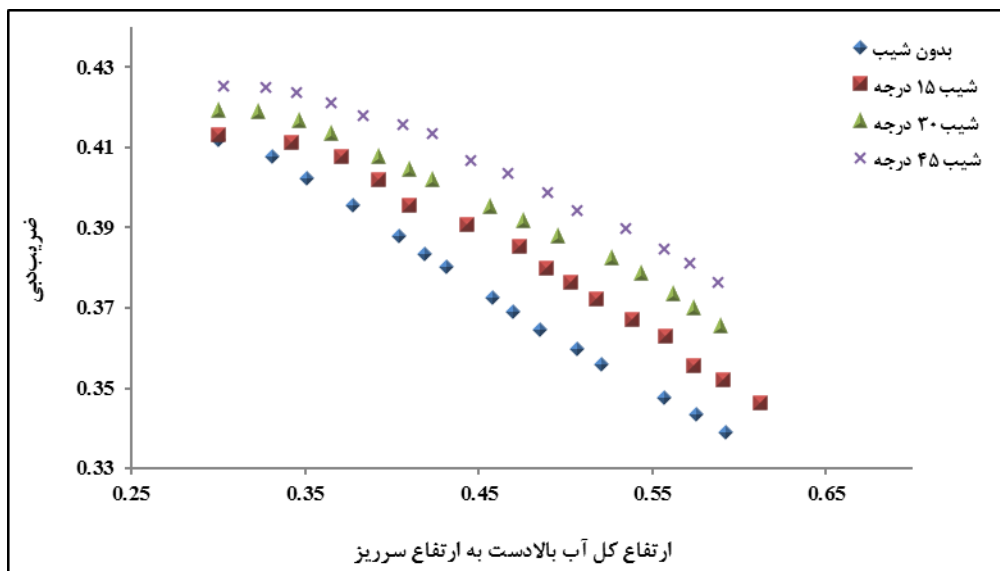
برای تحلیل بهتر اثر شیب وجه بالادست بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی، شکل ۱۴ رسم شد. این شکل تغییرات پارامتر بدون بعد نسبت ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجه بالادست شیب‌دار به ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی بدون شیب (C_{ds}/C_d) را بر حسب پارامتر بدون بعد H_t/P در همان مدل نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱۴ ملاحظه شد، کاهش ضریب دبی در حالتی که ارتفاع آب روی سرریز کم می‌باشد، بیشترین مقدار را دارد. با افزایش دبی و همچنین افزایش نسبت H_t/P از میزان کاهش آن کاسته می‌شود و اختلاف بین مقدار ضریب دبی سرریز با شیب وجه بالادست با ضریب دبی سرریز بدون شیب کم می‌شود. بنابراین با توجه به نمودار به دست آمده در محدوده دبی آزمایش، انتظار می‌رود در دبی‌های بالا و نسبت‌های H_t/P بیشتر، ضریب دبی در حالت شیب‌دار وجه بالادست از ضریب دبی سرریز بدون شیب بیشتر شود. آندرسون (Anderson, 2011) نشان داد که متناسب با شیب وجه بالادست سرریز غیر مستقیم ضریب دبی سرریز کاهش می‌یابد، که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

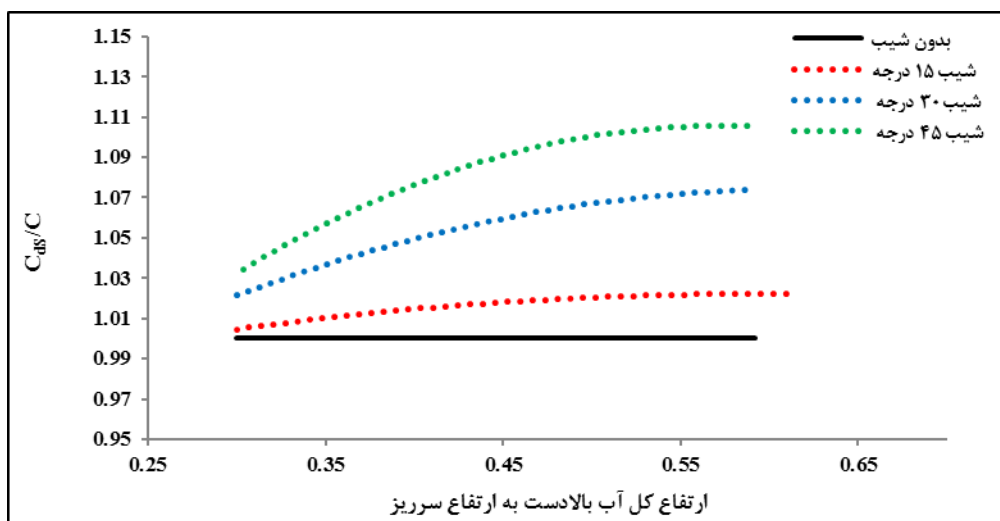
تعیین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی...

می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده شد متناسب با افزایش شیب، ضریب دبی افزایش می‌یابد، به طوری که شیب ۴۵ درجه وجه پایین دست نسبت به حالت بدون شیب، شیب‌های ۱۵ و ۳۰ درجه ضریب دبی بیشتری دارد. همچنین مشاهده شد، که در محدوده H/P بین ۰/۳ تا ۰/۵۵ ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب ۴۵ درجه وجه پایین دست حدود ۱۶ درصد نسبت به سرریز بدون شیب افزایش می‌یابد. با افزایش پارامتر بدون بعد

برای H/P نسبت‌های بیشتر از حدود ۰/۵۵ مشاهده شد که از میزان شدت افزایش ضریب دبی سرریز با شیب وجه پایین دست نسبت به حالت بدون شیب سرریز کاسته می‌شود و ضریب دبی با اختلاف تقریباً ثابتی افزایش می‌یابد. میزان افزایش ضریب دبی در شیب ۴۵ درجه وجه پایین دست نسبت به حالت بدون شیب سرریز حدود ۱۳ درصد به دست آمد. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج آندرسون (Anderson, 2011) مطابقت دارد.



شکل ۱۵- ضریب دبی در برابر H/P (شیب پایین دست)



شکل ۱۶- ضریب دبی در برابر H/P (شیب پایین دست)

استخراج معادلات تجربی

هر مدل نشان می‌دهند. بر اساس ضرایب ثابت رابطه ۴ مشخص می‌شود که ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه بالادست با مشخصه $\frac{H}{W_f}$ و $\frac{H}{t}$ رابطه مستقیم داشته ولی با سایر پارامترهای بی‌بعد رابطه عکس دارد. همچنین در رابطه ۴ حساسیت ضریب دبی در این حالت به تغییرات مشخصه $\frac{H}{p}$ بیشتر می‌باشد.

از طریق آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، روابط هم‌بستگی غیر خطی بین ضریب دبی و پارامترهای بدون بعد مطابق رابطه ۴ ارائه شده است. جدول‌های ۳ و ۴ ضرایب ثابت مربوط به سرریز کنگره‌ای مستطیلی به ترتیب با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست را برای

$$C_d = A \cdot \left(\frac{H}{P}\right)^{B1} \cdot \left(\frac{H}{W_f}\right)^{B2} \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^{B3} \cdot \left(\frac{H}{t}\right)^{B4} \cdot Fr^{B5} \cdot \tan \theta^{B6} \quad (۴)$$

جدول ۳- ضرایب ثابت رابطه ضریب دبی (رابطه ۴) برای حالت شیب وجه بالادست

سرریز	A	B1	B2	B3	B4	B5	B6
۱	۰/۷۱۳	-۲/۵۸۵	۰/۸۲۸	-۰/۸۹۰	۰/۶۴۴	-۰/۱۱۴	-۰/۰۸۰
۲	۰/۴۰۷	-۲/۰۷۲	۰/۹۴۸	-۰/۷۸۵	۰/۵۴۰	-۰/۱۰۸	-۰/۰۷۵
۳	۰/۵۷۹	-۲/۰۹۳	۰/۷۶۱	-۰/۸۶۰	۰/۵۷۳	-۰/۱۱۶	-۰/۰۷۳
۴	۰/۷۶۷	-۲/۸۸۵	۰/۹۲۶	-۰/۹۲۹	۰/۷۷۹	-۰/۱۲۵	-۰/۰۷۴
۵	۰/۵۷۱	-۲/۶۷۷	۰/۹۸۸	-۰/۷۳۱	۰/۶۱۶	-۰/۱۲۳	-۰/۰۷۰

جدول ۴- ضرایب ثابت رابطه ضریب دبی (رابطه ۴) برای حالت شیب وجه پایین‌دست

سرریز	A	B1	B2	B3	B4	B5	B6
۱	۰/۵۴۳	-۲/۴۹۵	۰/۶۱۸	-۰/۸۰۶	۰/۶۶۳	-۰/۴۴۹	۰/۰۷۲
۲	۰/۴۰۴	-۲/۲۰۸	۰/۶۲۸	-۰/۸۴۰	۰/۵۵۹	-۰/۴۳۷	۰/۰۶۰
۳	۰/۴۴۹	-۲/۰۰۱	۰/۶۹۴	-۰/۸۵۱	۰/۶۸۷	-۰/۴۷۲	۰/۰۳۴
۴	۰/۵۵۶	-۲/۶۲۷	۰/۸۲۴	-۰/۹۲۶	۰/۵۶۳	-۰/۶۱۰	۰/۰۲۳
۵	۰/۵۸۱	-۲/۵۵۶	۰/۷۰۷	-۰/۹۵۹	۰/۶۰۴	-۰/۵۲۴	۰/۰۲۳

اندازه‌گیری شده از روابط ۵ و ۶ محاسبه شده است (Monroy et al., 2004).

بر اساس ضرایب ثابت رابطه ۴ مشخص می‌شود که ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه پایین‌دست با مشخصه $\frac{H}{W_f}$ و $\tan \theta$ رابطه مستقیم داشته و با سایر مشخصه‌ها رابطه معکوس دارد. همچنین در رابطه ۴ حساسیت ضریب دبی در این حالت به تغییرات مشخصه $\frac{H}{p}$ بیشتر می‌باشد. با استفاده از تابع خطای NRMSE (جذر میانگین مربعات خطا) و تابع خطای استاندارد تخمین SEE مقدار خطای نتایج محاسباتی و

$$NRMSE = \frac{e^2}{\sigma_2^2} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{isave})^2} \quad (۵)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (۶)$$

و ۶ مشخصات آماری رابطه ۴ و آزمون صحت‌سنجی برای سرریز کنگره‌ای مستطیلی به‌ترتیب با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست را نشان می‌دهند. نتایج جدول‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهند که رابطه ۴ برای هر ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست به لحاظ مهندسی از دقت خوبی برخوردار می‌باشد.

که در آنها، e^2 = مجذور میانگین خطا بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی؛ $\sigma^2 =$ واریانس داده‌های خروجی؛ $X_i =$ مقادیر مشاهده شده؛ $Y_i =$ مقادیر محاسبه شده؛ $X_{iave} =$ متوسط مقادیر مشاهده شده؛ و $n =$ تعداد داده‌ها. آزمون صحت‌سنجی با استفاده از داده‌های آزمایش‌های کنترلی (۲۰ درصد داده‌ها) انجام شده است. جدول‌های ۵

جدول ۵- مشخصات آماری رابطه ضریب دبی (رابطه ۴) برای حالت شیب وجه بالادست

سرریز	خطای استاندارد تخمین (آموزش) SEE	تابع خطای نرمال NRMSE	ضریب تبیین (آموزش) R ²	خطای استاندارد (آموزش) SEE	تابع خطای نرمال (آموزش) NRMSE	ضریب تبیین (آموزش) R ²
۱	۰/۰۰۷	۰/۱۰۸	۰/۹۸۸	۰/۰۰۷	۰/۱۰۱	۰/۹۹۱
۲	۰/۰۰۴	۰/۱۸۴	۰/۹۶۹	۰/۰۰۴	۰/۱۸۷	۰/۹۶۰
۳	۰/۰۰۲	۰/۱۴۱	۰/۹۸۰	۰/۰۰۲	۰/۱۳۰	۰/۹۸۶
۴	۰/۰۰۹	۰/۱۹۹	۰/۹۴۲	۰/۰۰۸	۰/۱۹۰	۰/۹۶۳
۵	۰/۰۰۸	۰/۱۸۳	۰/۹۵۴	۰/۰۰۷	۰/۱۷۹	۰/۹۷۳

جدول ۶- مشخصات آماری رابطه ضریب دبی (رابطه ۴) برای حالت شیب وجه پایین‌دست

سرریز	خطای استاندارد تخمین (آموزش) SEE	تابع خطای نرمال NRMSE	ضریب تبیین (آموزش) R ²	خطای استاندارد (آموزش) SEE	تابع خطای نرمال (آموزش) NRMSE	ضریب تبیین (آموزش) R ²
۱	۰/۰۰۹	۰/۲۰۱	۰/۹۶۴	۰/۰۰۸	۰/۲۰۹	۰/۹۶۹
۲	۰/۰۰۳	۰/۱۷۷	۰/۹۶۸	۰/۰۰۴	۰/۱۸۱	۰/۹۵۶
۳	۰/۰۰۲	۰/۱۴۱	۰/۹۸۰	۰/۰۰۲	۰/۱۲۲	۰/۹۸۶
۴	۰/۰۰۹	۰/۲۱۲	۰/۹۷۶	۰/۰۰۹	۰/۲۰۷	۰/۹۷۹
۵	۰/۰۰۸	۰/۲۱۰	۰/۹۴۰	۰/۰۰۷	۰/۲۰۱	۰/۹۵۵

نتیجه‌گیری

ارتفاع سرریز می‌باشد. با شیب‌دار کردن وجه پایین‌دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی، میزان ضریب دبی به‌علت کاهش محدوده تداخلی جت آب سیکل‌های مجاور، نسبت به حالت سرریز کنگره‌ای بدون شیب افزایش یافته، در نتیجه باعث افزایش راندمان هیدرولیکی مدل می‌شود. همچنین در یک ارتفاع آب بالادست ثابت با افزایش ارتفاع سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجوه شیب‌دار، ضریب دبی مدل افزایش می‌یابد، در نتیجه

افزایش پارامتر بدون بعد H_i/P به دلیل افزایش ارتفاع آب بالادست، باعث کاهش ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی می‌شود. بنابراین می‌توان گفت کارایی هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی در هدهای آبی کم، بیشتر می‌باشد. از جمله راهکارهای بهبود عملکرد سرریز کنگره‌ای مستطیلی، ایجاد شیب نسبت به تاج سرریز در وجه پایین‌دست و همچنین افزایش

عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی بهبود پیدا می‌کند. با توجه به بررسی‌های انجام شده، تغییراتی نظیر افزایش طول مؤثر سرریز و ایجاد شیب نسبت به تاج سرریز در وجه بالادست مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی توصیه نمی‌شود. افزایش طول دماغه سرریز یا در واقع طول مؤثر سرریز در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجوه شیب‌دار، ضریب دبی سیستم را تا حدودی کاهش می‌دهد. ایجاد شیب وجه بالادست در سرریز کنگره‌ای مستطیلی به دلیل افزایش نیروی اصطکاک باعث کاهش ضریب دبی و راندمان هیدرولیکی سرریز نسبت به حالت بدون شیب می‌شود. بنابراین پیشنهاد می‌شود از شیب‌دار نمودن وجه بالادست سرریز کنگره‌ای مستطیلی صرف‌نظر شود.

مراجع

- Azhdarimoghadam, M., Amanian, N. and Jafarindooshan, E. 2010. Optimization of triangular labyrinth weir using Fuzzy_ANN and Genetic algorithm models. *Modares Civil. Eng. J.* 7(19): 58-68. (in Persian)
- Anderson, R. M. 2011. Piano key weir head discharge relationships. M. Sc. Thesis. Civil and Environmental Engineering Utah State University. Logan, Utah.
- Azimi, A. H., Rajaratnam, N. and Zhu, D. Z. 2013. Discharge characteristics of weirs of finite crest length with upstream and downstream ramps. *J. Irrig. Drain. Eng.* 140(1): 75-83.
- Banihashemi, M. A. and Mehrani, S. 2008. Analytical investigation of optimal operation criterion of labyrinth weirs. *J. Civil. Eng.* (in Persian)
- Cassidy, J. J., Gardner, C. A. and Peacock, R. T. 1985. Boardman labyrinth crest. *J. Hydraul. Eng. ASCE* 111(3): 247- 255.
- Farhoudi, J. and Shah-Alami, H. 2005. Slope effect on discharge efficiency in rectangular broad-crested weir with sloped upstream face. *Int. J. Civ. Eng.* 3(1): 58-65.
- Goodarzi, E., Farhoudi, J. and Shokri, N. 2012. Flow characteristics of rectangular broad-crested weirs with sloped upstream face. *J. Hydrol. Hydromech.* 60(2): 87-100.
- Hajimohamadi, M., Boghlani, A. H. and Jafarindooshan, E. 2012. Investigation of the effect of triangular labyrinth weir's side slope on discharge coefficient using numerical models. *J. Hydraul. Eng.* (in Persian)
- Hamzei, M., Javan, M. and Eghbalzadeh, A. 2013. Investigation of effect of broad-crested weir's upstream and downstream side slop on flow characteristics using Fluent software. *J. Water Soil.* 2(20): 2-21. (in Persian)
- Mellat, M. M. 2005. Investigating labyrinth weirs performance with variable downstream slope. 73rd Annual Meeting of ICOLD. May. 1-6. Tehran. Iran.
- Mirnaseri, M. 2013. Investigation of combined flow over rectangular labyrinth weir and under gates with different plans M. Sc. Thesis. Mazandaran University. Sari, Iran. (in Persian)
- Monroy, R., Figueroa, G. A., Sucar, L. E. and Sossa, H. 2004. Advances in artificial intelligence. 3rd Mexican International Conference Artificial Intelligence. Apr. 26-30. Mexico Cty, Mexico.
- Rezaee, M. 2013. Rectangular labyrinth weir head-discharge relationship. M. Sc. Thesis. Mazandaran University. Sari, Iran. (in Persian)
- Shokri, N., Farhoodi, J. and Goodarzi, E. 2008. Effect of rectangular broad-crested weir's upstream and downstream side slope on flow conditions. *J. Civil. Eng.* 37, 9-19. (in Persian)

تعیین ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی...

Tullis, J. P., Amanian, N. and Waldron, D. 1995. Design of labyrinth spillways. J. Hydraul. Eng. ASCE. 121(3): 247-255.

Vakili, Sh., Shamsaei, A. and Rostami, M. 2011. Numerical analysis of overfall weir's slope and curve on flow pattern. J. Civil. Eng. (in Persian)



Determination of Rectangular Labyrinth Weir's Discharge Coefficient Affecting Downstream and Upstream Ramps Slope

M. Oskouei, A. R. Emadi* and A. Shahnazari

*Corresponding Author: Associate Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: Emadia355@yahoo.com

Received: 30 November 2017, Accepted: 26 May 2018

Abstract

Labyrinth weirs are considered as appropriate option for correction of weirs facing problems with maximum conveyance flow rate. In this research, 5 rectangular labyrinth weirs with 4 different slopes in downstream and upstream ramps were investigated in laboratory condition. The experiments were carried out for 4 different ramp slopes, including: no slope, 15, 30 and 45 degrees. Our findings showed that, for rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps slope, discharge coefficient decreased when Ht/P increased. It was also indicated that, in case of creation of slope in downstream and upstream ramps, the discharge coefficient of rectangular labyrinth weir increased and decreased, respectively compared to no slope condition. Furthermore, it was found that in rectangular labyrinth weir model, increase in weir's effective length resulted reduction in discharge coefficient, and that increase in weir's height caused increase in discharge coefficient. Finally, we presented equations of discharge coefficients based on effective dimensionless parameters.

Keyword: Crest Shape, Experimental Model, Hydraulic, Upstream Water Height