

بررسی ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای

سید نصراله موسوی^{۱*}، داود فرسادی زاده^۲، هادی ارونتقی^۳، اکرم عباسپور^۴

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۰۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۶/۲۹

۱- دانشجوی دکتری تخصصی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.n.mousavi@tabrizu.ac.ir

چکیده

سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای در سطح مقطع خود به‌صورت ترکیبی از یک دهانه قوس دایره‌ای در قسمت پایین و یک دهانه دوزنقه‌ای در قسمت بالا می‌باشند. در این تحقیق، ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها بر روی سرریزهایی با عرض تاج ۱۵ سانتی‌متر، ارتفاع تاج ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای ۵ و ۷/۵ سانتی‌متر با شعاع قوس‌های مختلف و شیب دیواره‌های جانبی ۰/۵ (0.5H:1V) در فلوم آزمایشگاهی انجام گرفت. نتایج نشان داد که مقدار ضریب دبی سرریزهای مذکور در محدوده ۰/۵۶ تا ۰/۸۱ می‌باشد. به‌ازای بار آبی معین، با افزایش ارتفاع تاج سرریز، ضریب دبی حدوداً تا ۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین به‌ازای بار آبی معین، با تغییر ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای سرریز، ضریب دبی سرریزهای مرکب نسبت به سرریزهای دوزنقه‌ای در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد افزایش می‌یابد. بر اساس معیار ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) که برابر با ۰/۰۵۶۳ می‌باشد، ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای با استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای لبه‌تیز دایره‌ای و دوزنقه‌ای با دقت نسبتاً قابل قبولی قابل برآورد می‌باشد. در این تحقیق پیوستگی دبی جریان روی سرریز مرکب به‌ازای تغییرات بار آبی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کمترین میزان ناپیوستگی در محدوده وسیعی از دبی جریان وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: بار آبی، سرریز قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای، ضریب دبی، فلوم آزمایشگاهی

Investigation of Discharge Coefficient of Compound Arched Circular-Trapezoidal Sharp-Crested Weirs

SN Mousavi^{1*}, D Farsadizadeh², H Arvanaghi³, A Abbaspour⁴

Received: 20 February 2016

Accepted: 19 September 2016

1-Ph.D. Student., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz., Iran

2-Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz., Iran

3-Assist. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

4-Assist. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

Corresponding Author, Email: s.n.mousavi@tabrizu.ac.ir

Abstract

The compound arched circular-trapezoidal sharp-crested weirs are combinations of a circular arch notch at the bottom part and a trapezoidal notch at the top of the cross section. In this research, the discharge coefficient (C_d) of compound arched circular-trapezoidal sharp-crested was investigated. The experiments were conducted on weirs having the crest width of 15 cm, crest height of 15, 20, 25 cm and circular arch notch height of 5, 7.5 cm with different curve radii and the side walls slope of 0.5 (0.5H:1V) in a laboratory flume. The results indicated that the amount of discharge coefficient was in the range of 0.56 to 0.81. For a given hydraulic head, the amount of C_d is reduced approximately up to 5% by increasing the height of weir crest. In addition, for a given hydraulic head, by changing the height of circular arch notch, the amount of C_d for the compound arched circular-trapezoidal sharp-crested weirs increased about 25 to 30 percent with respect to the trapezoidal weirs. According to the root mean square error (RMSE) with value of 0.0563, the amount of C_d for the compound arched circular-trapezoidal weirs was estimated with acceptable accuracy, using a linear combination of the discharge relationships of circular and trapezoidal weirs. In this research, the discharge continuity over the compound weir for the various hydraulic heads was examined using the experimental data. The results showed that the least amount of discontinuity could be seen in the wide range of discharges.

Keywords: Arched Circular-Trapezoidal weir, Discharge coefficient, Hydraulic head, Laboratory flume

مقدمه

می‌گردد (گرنٹ و داوسون ۱۹۹۵). عباسپور (۱۳۸۰) به ارزیابی جریان آزاد بر روی سرریز لبه‌تیز مرکب مثلثی-مستطیلی با زاویه رأس ۹۰ درجه با فشردگی جانبی و بدون فشردگی جانبی پرداخت. در این تحقیق رابطه دبی جریان آزاد بر روی سرریز مرکب مذکور ارائه گردید. مارتینز و همکاران (۲۰۰۵) یک سرریز لبه‌تیز ترکیبی متشکل از دو سرریز لبه‌تیز مثلثی را پیشنهاد نمودند. رابطه دبی جریان در سرریز مرکب پیشنهادی با ترکیب خطی روابط دبی جریان در سرریزهای لبه‌تیز مثلثی ارائه گردید. جان و همکاران (۲۰۰۶) در بررسی آزمایشگاهی خود چهار نوع سرریز لبه‌تیز مرکب را مورد مطالعه قرار داده و تأیید نمودند که روش ترکیب خطی برای بسط

سرریز لبه‌تیز یکی از سازه‌هایی است که به‌طور گسترده در کانال‌های روباز به‌کار می‌رود. این سازه سرریز کننده شامل یک صفحه قائم نصب‌شده به‌صورت عمود بر مسیر جریان بوده و وجه بالادست لبه بالایی این صفحه کاملاً تیز بوده و جدا شدگی، خطوط جریان را کاملاً از صفحه دور می‌کند (محمدی و همکاران ۱۳۸۹). در مناطقی که جریان‌های عبوری تنوع زیادی از خود بروز می‌دهند، دقت اندازه‌گیری دبی جریان در سرریزهای لبه‌تیز ساده کاهش می‌یابد. در چنین شرایطی راه‌حل متداول، استفاده از سرریز لبه‌تیز ترکیبی بوده که دارای یک سرریز کوچک طراحی شده برای جریان‌های کم بوده و اساس سازه برای جریان‌های بالاتر طراحی

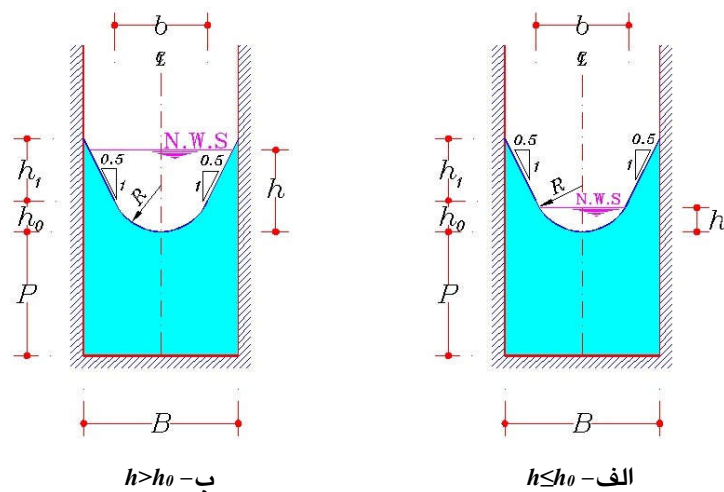
ارائه نمودند. موسوی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی، رابطه نظری ضریب دبی را ارائه نمودند. هدف از این تحقیق، بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - ذوزنقه‌ای می‌باشد. از اهداف دیگر این تحقیق می‌توان به تحلیل هندسه‌های مختلف سرریز مرکب، طراحی و واسنجی آن با قابلیت اندازه‌گیری دقیق برای طیف گسترده‌ای از جریان‌ها بدون ناپیوستگی در ناحیه انتقال بین دو بخش سرریز مرکب، ارائه رابطه نظری ضریب دبی سرریز مرکب و نیز مقایسه مقادیر ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز ساده و مرکب اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

تحلیل جریان

در سرریز لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - ذوزنقه‌ای دو حالت برای تحلیل جریان وجود دارد.

روابط دبی جریان در سرریزهای لبه‌تیز مرکب مناسب می‌باشد. با این حال سرریزهای مرکب پیشنهادی آنها مناسب برای استفاده نمی‌باشند. هنگامی که دبی جریان بیش از ظرفیت سرریز پایین‌تر می‌شود، جریان آب از روی تاج‌های افقی عرضی ریزش می‌کند و این جریان‌های روگذر باعث بروز ناپیوستگی در انتقال بین دو قسمت سرریزهای مرکب در روی نمودارهای دبی جریان - بار آبی می‌گردند (برگمن ۱۹۶۳). ارونقی و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی ضریب دبی در سرریز لبه‌تیز مرکب نیم‌دایره‌ای - ذوزنقه‌ای پرداخته و رابطه‌ای برای دبی جریان در سرریزهای مذکور پیشنهاد نمودند. لی و همکاران (۲۰۱۲) با انجام آزمایش‌هایی به بررسی روابط هیدرولیکی جریان در سرریزهای لبه‌تیز مرکب ذوزنقه‌ای - ذوزنقه‌ای - مستطیلی پرداخته و روابط نظری دبی جریان را در این نوع از سرریزها استخراج نمودند. محمد علی و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی روابط دبی جریان در سرریزهای مثلثی ساده و مرکب پرداخته و رابطه تجربی جهت ارزیابی ضریب دبی در پنج مدل سرریز مختلف



شکل ۱- حالت‌های مختلف عبور جریان از روی سرریز مرکب.

نموده و دبی جریان از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (وطن - خواه ۲۰۱۰).

$$Q = 4C_d \sqrt{2g} \cdot \varphi(\eta) \cdot R \cdot h^2 \quad h \leq h_0 \quad [1]$$

در حالت اول مطابق شکل ۱- الف جریان آب فقط از قسمت قوس دایره‌ای سرریز عبور می‌نماید. در این حالت سرریز به صورت سرریز لبه‌تیز دایره‌ای عمل

تحلیل ابعادی

با در نظر گرفتن متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی مؤثر بر جریان آزاد بر روی سرریزهای لبه‌تیز، تابع جریان را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود (موسوی ۱۳۹۱).

$$F_1(h, h_0, P, R, b, B, Q, \rho, \sigma, \mu, g, \theta) = 0 \quad [۶]$$

که در آن تعداد ۱۲ متغیر مستقل با سه کمیت اصلی (طول، جرم و زمان) وجود دارد. با استفاده از تحلیل ابعادی به روش π -باکینگهام و با صرف نظر کردن از تأثیر نیروهای لزوجت و کشش سطحی، رابطه بی بعد زیر حاصل می‌شود.

$$F_2\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{B}, \frac{Q}{g^2 R h^2}, \frac{Q}{g^2 b h^2}, \frac{Q}{g^2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^2}\right) = 0 \quad [۷]$$

با توجه به متغیرهای مورد استفاده در این تحقیق، روابط ابعادی برای حالت‌های مختلف جریان بر روی سرریز مرکب به فرم زیر می‌باشند.

$$\frac{Q}{g^2 R h^2} = F_3\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{B}\right) \quad h \leq h_0 \quad [۸]$$

$$\frac{Q}{g^2 R h^2 + g^2 b h^2 + g^2 \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h^2} = F_4\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{B}\right) \quad h > h_0 \quad [۹]$$

با مقایسه و ترکیب روابط ۱ و ۴ با روابط ۸ و ۹، تابع ابعادی ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای - نوزنقه‌ای به صورت زیر بیان می‌شود.

$$C_d = F\left(\frac{h}{P}, \frac{h}{h_0}, \frac{h}{B}\right) \quad [۱۰]$$

با استفاده از تابع ابعادی فوق، ضریب دبی بر حسب پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی معین و نامعین به صورت تجربی قابل ارزیابی می‌باشد.

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی

که در آن دبی جریان، C_d ضریب دبی، g شتاب ثقل، h بار آبی، R شعاع قوس دایره، $\eta = \frac{h}{2R}$ و $\phi(\eta)$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود (وطن خواه ۲۰۱۰).

$$\phi(\eta) = 0.1963\eta^{\frac{1}{2}}(\sqrt{1-0.22\eta} + \sqrt{1-0.773\eta}) \quad [۲]$$

در حالت دوم مطابق شکل ۱-ب، جریان علاوه بر دهانه دایره‌ای، از دهانه نوزنقه‌ای نیز عبور می‌نماید. در این حالت دبی جریان از رابطه ۳ تعیین می‌شود.

$$Q = 4C_{d1}\sqrt{2g}\phi(\eta)Rh_0^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{3}C_{d2}\sqrt{2g}b_e h_{1e}^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15}C_{d3}\sqrt{2g}\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)h_{1e}^{\frac{5}{2}} \rightarrow h > h_0 \quad [۳]$$

که در آن C_{d1} ، C_{d2} و C_{d3} به ترتیب ضرایب دبی در دهانه‌های دایره‌ای، مستطیلی و مثلثی سرریز مرکب قوس دایره‌ای - نوزنقه‌ای می‌باشند (هندرسون ۱۹۶۶، سوامی ۱۹۸۸، جان و همکاران ۲۰۰۶، سابرامانیا ۲۰۰۷، وطن خواه ۲۰۱۰). پارامترهای h_{1e} و b_e به ترتیب عرض مؤثر و بار آبی مؤثر می‌باشند (کیندسووتر و کارتر ۱۹۵۹، باس ۱۹۸۹). با توجه به وضعیت جریان در دهانه نوزنقه‌ای سرریز مرکب، مقدار ضریب دبی جزء مربوطه افزایش یافته و به عدد یک نزدیک می‌شود. رابطه ۳ را می‌توان به صورت تابعی از ضریب دبی کلی طبق رابطه زیر بیان نمود.

$$C_{dm} = \frac{Q}{4\sqrt{2g}\phi(\eta)Rh_0^{\frac{3}{2}} + \frac{2}{3}\sqrt{2g}b_e h_{1e}^{\frac{3}{2}} + \frac{8}{15}\sqrt{2g}\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)h_{1e}^{\frac{5}{2}}} \quad [۴]$$

مطابق رابطه فوق، ضریب دبی اندازه‌گیری شده سرریز مرکب (C_{dm}) با استفاده از داده‌هایی نظیر دبی جریان، عرض مؤثر و بار آبی مؤثر قابل محاسبه می‌باشد. از ترکیب روابط ۳ و ۴ می‌توان ضریب دبی محاسبه شده (C_{dc}) را با استفاده از رابطه زیر به دست آورد.

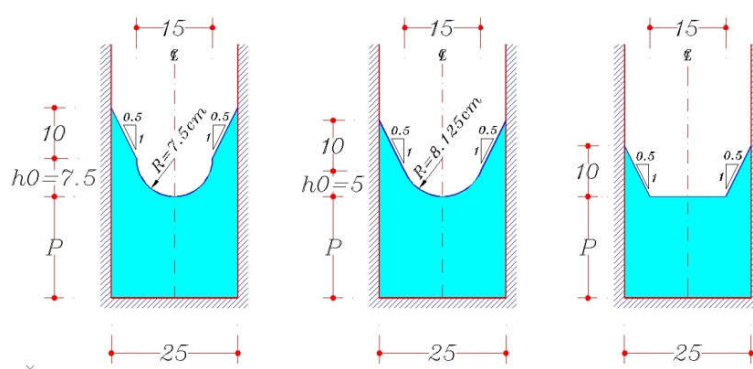
$$C_{dc} = \frac{30C_{d1}\phi(\eta)Rh_0^{\frac{3}{2}} + 5C_{d2}b_e h_{1e}^{\frac{3}{2}} + 4C_{d3}\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)h_{1e}^{\frac{5}{2}}}{30\phi(\eta)Rh_0^{\frac{3}{2}} + 5b_e h_{1e}^{\frac{3}{2}} + 4\tan\left(\frac{\theta}{2}\right)h_{1e}^{\frac{5}{2}}} \quad [۵]$$

می‌کند. در شکل ۲ نمایی از فلوم آزمایشگاهی به‌کار رفته در این تحقیق به‌همراه سرریز نصب‌شده در داخل آن نشان داده شده است. همچنین در شکل ۳ مقاطع سرریزهای به‌کار رفته در تحقیق نشان داده شده است.

گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در فلوم فلزی - شیشه‌ای به‌عرض ۲۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر، طول ۹ متر و شیب طولی ۰/۰۰۲۲ انجام گرفت. در انتهای فلوم، جریان از روی یک سرریز لبه‌تیز مثلثی با زاویه رأس ۵۳ درجه واسنجی‌شده عبور



شکل ۲- نمایی از فلوم آزمایشگاهی به‌همراه سرریز نصب‌شده در داخل آن.



شکل ۳- مقاطع سرریزهای به‌کار رفته در تحقیق.

برابر ضخامت تاج باشد که عملاً محدودیت ۳۰ میلی‌متر را به‌عنوان کمینه بار آبی روی سرریز نتیجه می‌دهد. این محدودیت باعث کاهش اثرات احتمالی کشش سطحی و لزوجت می‌گردد (باس ۱۹۸۹).

مطابق جدول ۱ و با توجه به پارامترهای در نظر گرفته شده، آزمایش‌ها بر روی ۹ مدل سرریز لبه‌تیز انجام گرفت. به‌منظور برخورداری از ویژگی‌های یک تاج لبه‌تیز، بار آبی نسبت به تاج سرریز باید بزرگتر از ۱۵

جدول ۱- مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریزهای به کار رفته در تحقیق.

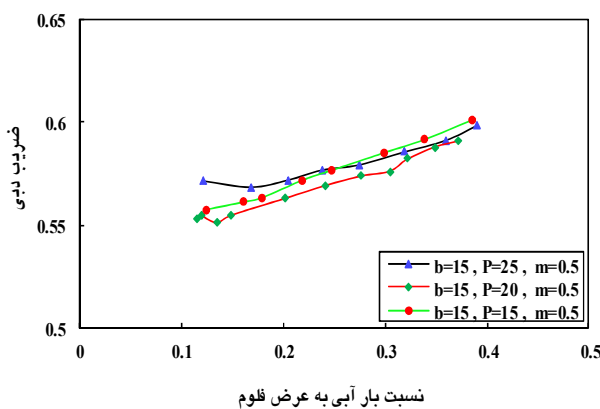
| مقدار | نماد | مشخصات |
|----------------|--------------------|---|
| ۱۵ | b | عرض دهانه دوزنقه‌ای (cm) |
| ۱۵-۲۰-۲۵ | P | ارتفاع تاج سرریز (cm) |
| ۷/۵-۵-۰ | h_0 | ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای (cm) |
| ۷/۵-۸/۱۲۵ | R | شعاع دهانه قوس دایره‌ای (cm) |
| ۱۰ | h_1 | ارتفاع دهانه دوزنقه‌ای (cm) |
| 0.5H:1V | $m=\tan(\theta/2)$ | شیب دیواره‌های جانبی دوزنقه‌ای |
| ۱۴/۷۷ تا ۳/۵۰ | h | بار آبی نسبت به تاج سرریز (cm) |
| ۱۴/۴۷ تا ۰/۹۱۶ | Q | دبی جریان عبوری از سرریز ($L S^{-1}$) |
| ۲۵ | B | عرض فلوم (cm) |

نتایج و بحث

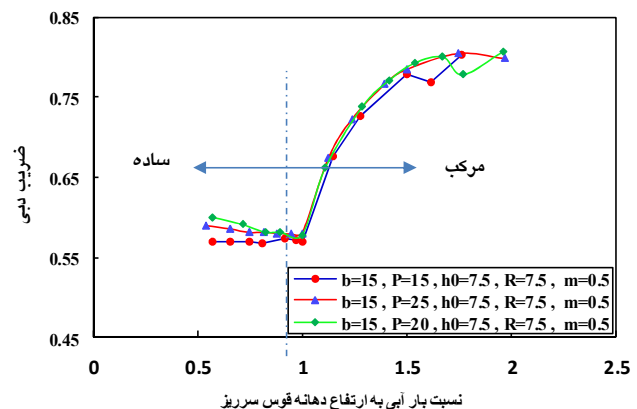
در این تحقیق جهت بررسی تغییرات ضریب دبی سرریزها نسبت به متغیرهای هندسی ارتفاع تاج و ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای سرریز به ازای تغییرات بار آبی، از نسبت‌های بی بعد h/P (نسبت بار آبی به ارتفاع سرریز)، h/h_0 (نسبت بار آبی به ارتفاع دهانه قوس سرریز) و h/B (نسبت بار آبی به عرض فلوم) استفاده شده است.

تأثیر ارتفاع تاج سرریز بر ضریب دبی

مطابق شکل‌های ۴ و ۵ به ازای نسبت معینی از h/h_0 (نسبت بار آبی به ارتفاع دهانه قوس سرریز) و یا h/B (نسبت بار آبی به عرض فلوم)، ضریب دبی سرریزهای با ارتفاع تاج کمتر، دارای افزایش جزئی می‌باشد. هر چه ارتفاع سرریز کمتر باشد، ممانعت در برابر جریان کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد به ازای بار آبی معین روی تاج سرریز، با افزایش ارتفاع سرریز، ضریب دبی حدود ۱ تا ۵ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۵- تأثیر ارتفاع تاج سرریزهای دوزنقه‌ای ساده بر ضریب دبی.



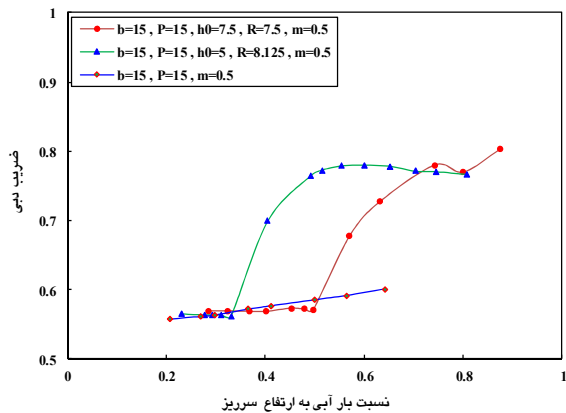
شکل ۴- تأثیر ارتفاع تاج سرریزهای مرکب بر ضریب دبی.

تأثیر ارتفاع دهانه قوس سرریز بر ضریب دبی

با توجه به شکل ۶ با افزایش نسبت h/P مقدار ضریب دبی ابتدا روند افزایشی و سپس نسبتاً ثابت نشان می‌دهد. به ازای بار آبی معین، ضریب دبی سرریزهای قوس دایره‌ای - نوزنقه‌ای با عرض دهانه نوزنقه‌ای ۱۵ سانتی‌متر، با کاهش ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای از ۷/۵ به ۵ سانتی‌متر، حدود ۵ درصد و نسبت به سرریزهای نوزنقه‌ای در حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد افزایش می‌یابد.

با توجه به شکل‌های ۴ تا ۶، ضریب دبی نسبت به هر یک از پارامترهای بی‌بعد، در سرریزهای قوس دایره‌ای و نوزنقه‌ای نسبت به سرریزهای مرکب دارای مقادیر کمتری بوده و تغییرات آنها دارای شیب ملایم‌تری می‌باشند. با افزایش بیشتر بار آبی در سرریزهای مرکب، مقادیر ضریب دبی نسبتاً ثابت می‌گردند. در شکل ۷ مقادیر ضریب دبی در انواع مختلف سرریزهای لبه تیز مرکب پیشنهاد شده توسط محققان مختلف مقایسه شده است. مطابق شکل ۷، مقادیر ضریب دبی سرریزهای مرکب مورد استفاده در

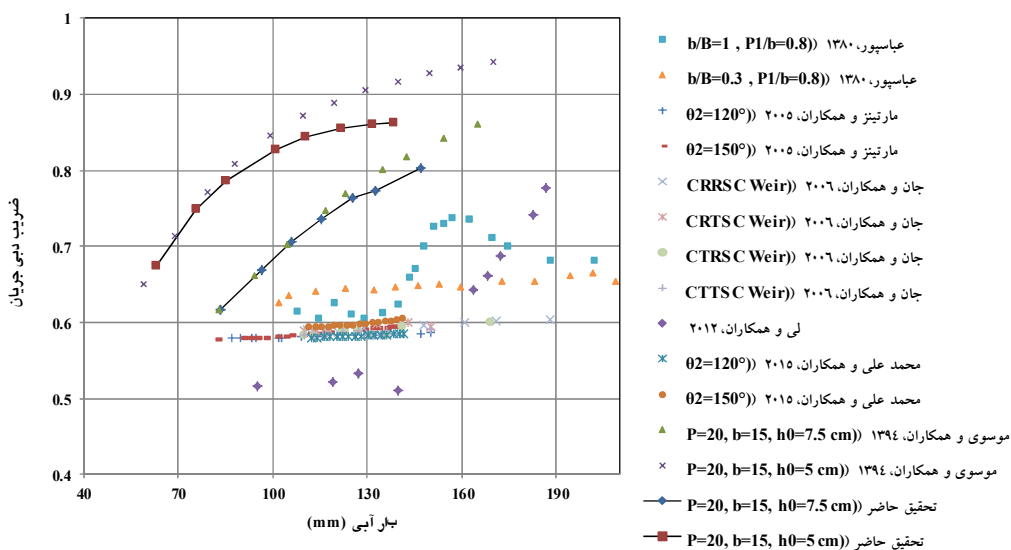
این تحقیق، در محدوده ۰/۵۶ تا ۰/۸۱ تغییر می‌نمایند.



شکل ۶- تأثیر ارتفاع دهانه قوس سرریز بر ضریب دبی.

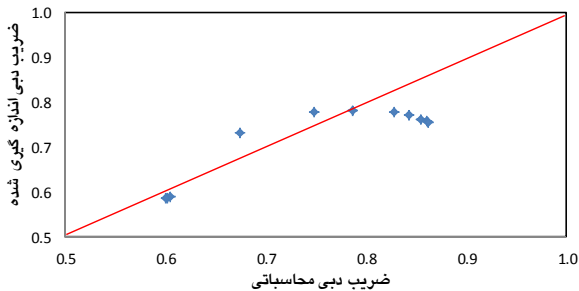
عملکرد رابطه نظری ضریب دبی

با مراجعه به منابع علمی متعدد می‌توان به این موضوع پی برد که استفاده از روش ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای مرکب با هندسه‌ها و اشکال مختلف، اخیراً توسط محققان مختلف توسعه داده شده است. در این تحقیق عملکرد سرریز مرکب قوس دایره‌ای - نوزنقه‌ای با شعاع قوس‌های مختلف با ارائه رابطه نظری ضریب دبی مورد بررسی قرار گرفت.



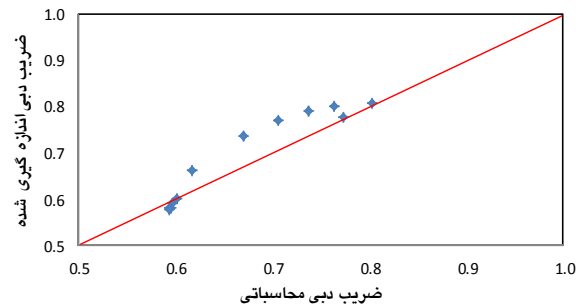
شکل ۷- مقایسه مقادیر ضریب دبی سرریزهای مرکب پیشنهادی محققان مختلف.

دبی محاسباتی (C_{dc}) و ضریب دبی اندازه‌گیری شده (C_{dm}) که به ترتیب با استفاده از روابط ۴ و ۵ استخراج شده‌اند، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. در جدول ۲ مقادیر متوسط شاخص ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای ضرایب دبی ارائه شده است.



شکل ۹- ضرایب دبی محاسباتی و اندازه‌گیری شده سرریز مرکب ($P=20, b=15, h_0=5, R=8.125 \text{ cm}$).

مطابق رابطه ۵ مقادیر محاسباتی ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای- نوزنقه‌ای، صرفاً با معلوم بودن پارامترهای هندسی به‌سهولت قابل استخراج بوده و نیازی به اندازه‌گیری دبی جریان از سرریز نمی‌باشد. در شکل‌های ۸ و ۹، مقادیر ضریب



شکل ۸- ضرایب دبی محاسباتی و اندازه‌گیری شده سرریز مرکب ($P=20, b=15, h_0=7.5, R=7.5 \text{ cm}$).

جدول ۲- مقادیر شاخص ارزیابی RMSE برای ضرایب دبی.

| RMSE | | | نوع سرریز |
|---------|---------|---------|--|
| P=15 cm | P=20 cm | P=25 cm | |
| ۰/۰۴۵۲ | ۰/۰۴۷۱ | ۰/۰۵۱۶ | سرریز مرکب ($b=15, h_0=7.5, R=7.5 \text{ cm}$) |
| ۰/۰۵۰۳ | ۰/۰۷۲۵ | ۰/۰۷۱۳ | سرریز مرکب ($b=15, h_0=5, R=8.125 \text{ cm}$) |
| ۰/۰۲۵۷ | ۰/۰۱۰۷ | ۰/۰۱۳۴ | سرریز قوس دایره‌ای ($h_0=7.5, R=7.5 \text{ cm}$) |
| ۰/۰۳۹۴ | ۰/۰۱۳۲ | ۰/۰۰۵۲ | سرریز قوس دایره‌ای ($h_0=5, R=8.125 \text{ cm}$) |
| ۰/۰۲۲۰ | ۰/۰۲۷۲ | ۰/۰۱۵۳ | سرریز نوزنقه‌ای ساده ($b=15 \text{ cm}$) |

دبی جریان و یا بر عکس، خطای آزمایشگاهی در عملکرد رابطه مذکور، تأثیر به‌سزایی دارند. گسترش محدوده روابط تجربی ارائه شده در منابع علمی برای ضریب دبی در سرریزهای با مقطع ساده، از جمله عوامل بروز اختلاف بین مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده ضریب دبی در سرریزهای مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد. این موضوع در مطالعات آیدین و همکاران (۲۰۱۱) مورد تأیید قرار گرفته است. مطابق نظر ایشان، روابط موجود در منابع علمی برای جریان در سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی، راه‌حل منحصر به

با توجه به نمودارهای ارائه شده، انطباق نسبتاً قابل قبولی بین مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده ضریب دبی سرریزهای مرکب مشاهده می‌شود. مطابق جدول ۲، مقدار متوسط مقدار جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر با ۰/۰۵۶۳ می‌باشد.

میزان اختلاف بین مقادیر محاسباتی و اندازه‌گیری شده ضریب دبی به طور قابل ملاحظه‌ای به تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده و دقت اندازه‌گیری بار آبی و دبی جریان بستگی دارد. به عبارت دیگر، تأثیر پارامترهای در نظر گرفته نشده در محاسبه رابطه نظری

تاج‌های افقی (ناحیه انتقال) قرار می‌گیرد اندازه‌گیری جریان بسیار دقیق نمی‌باشد (برگمن ۱۹۶۳، مارتینز و همکاران ۲۰۰۵). این مشکلات در سرریزهای مرکب با تاج‌های شیب‌دار که در این تحقیق پیشنهاد شده، تا حدودی مرتفع گردیده است (شکل ۱۰).

تأثیر ارتفاع سرریز بر رابطه دبی جریان - بار آبی
با توجه به شکل ۱۰ با افزایش بار آبی روی سرریز، میزان دبی جریان از سرریز افزایش یافته است. ارتفاع سرریز به‌عنوان مانعی در برابر جریان عمل می‌کند و با کاهش آن به‌ازای بار آبی ثابت، دبی جریان از سرریز به‌صورت جزئی افزایش یافته است. به‌ازای بار آبی معین روی سرریز و با کاهش ارتفاع تاج سرریز، دبی جریان به‌صورت جزئی (حدود ۱ تا ۳ درصد) افزایش یافته است.

تأثیر ارتفاع دهانه قوس سرریز بر رابطه دبی جریان - بار آبی
مطابق شکل ۱۱ به‌ازای بار آبی معین، سرریز با ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای کمتر دارای مقاومت اصطکاکی کمتری می‌باشد. لذا انتظار می‌رود دبی جریان بیشتر باشد که البته به‌علت اختلاف کم بین مقادیر ارتفاع دهانه قوس دایره‌ای، این تغییر دبی جریان، زیاد مشخص نمی‌باشد. در نمودار مربوط به رابطه دبی جریان - بار آبی، نرخ تغییر دبی جریان به‌ازای افزایش بار آبی، در بخش مرکب تندتر از بخش ساده می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان به‌خاطر افزایش سطح مقطع جریان از حالت ساده به مرکب دانست.

فردی را ارائه نمی‌دهند. لذا اختلافی بین روابط پیشنهادی محققان مختلف مشاهده می‌شود.

معادلات رگرسیونی ضریب دبی

هر چند روابط غیر خطی زیادی را می‌توان برای مدل‌سازی رگرسیونی در نظر گرفت، ولی جهت اجتناب از سعی و خطای زیاد، تابع غیر خطی زیر مورد بررسی قرار گرفت:

$$C_d = a \left(\frac{h}{r}\right)^b \left(\frac{h}{p}\right)^c \quad [11]$$

در این تحقیق به‌منظور استخراج معادلات رگرسیونی، نرم‌افزار اکسل به‌کار برده شده است که نتیجه محاسبات آن برای سرریزهای مرکب قوس دایره‌ای - دوزنقه‌ای در رابطه ۱۲ ارائه شده است.

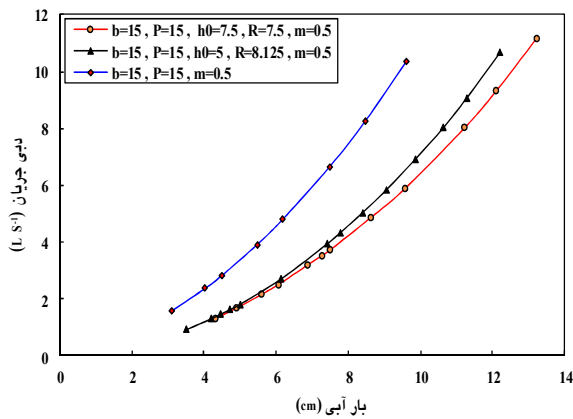
$$C_d = 0.757 \left(\frac{h}{r}\right)^{0.067} \left(\frac{h}{p}\right)^{0.015} \quad \text{RMSE} = 0.0303 \quad [12]$$

معادله رگرسیونی غیر خطی در سرریزهای ساده قوس دایره‌ای مطابق رابطه ۱۳ می‌باشد.

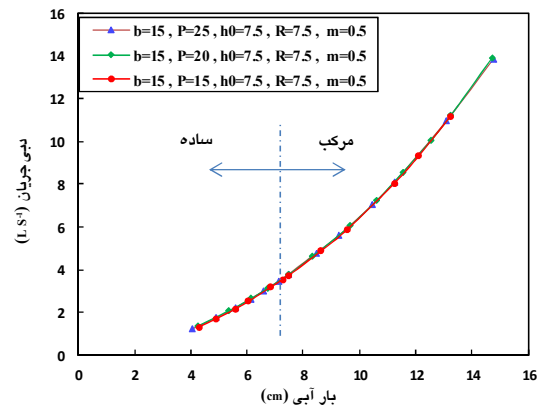
$$C_d = 0.536 \left(\frac{h}{r}\right)^{0.046} \left(\frac{h}{p}\right)^{-0.074} \quad \text{RMSE} = 0.0067 \quad [13]$$

بررسی رابطه دبی جریان - بار آبی

در سرریزهای مرکب متناسب با بار آبی روی آن، سرریز به‌صورت ساده و یا مرکب عمل می‌نماید. بنابراین آنچه که در این نوع از سازه‌ها انتظار می‌رود وجود ناپیوستگی در رابطه دبی جریان - بار آبی در محدوده مرزی آن (منطقه تبدیل حالت ساده به مرکب) می‌باشد. به‌عنوان یک اصل در شرایطی که بار آبی درست روی



شکل ۱۱- تأثیر ارتفاع دهانه قوس سرریز بر رابطه دبی جریان- بار آبی.



شکل ۱۰- تأثیر ارتفاع تاج سرریز مرکب بر رابطه دبی جریان- بار آبی.

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر با بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای- نوزنقه‌ای نتایج زیر به دست آمد:

- در این تحقیق، رابطه نظری دبی جریان برای یک نوع سرریز مرکب، استخراج و یک روش جهت تخمین ضریب دبی پیشنهاد گردید. سپس با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، مورد تأیید قرار گرفت.

- با توجه به پارامترهای مؤثر بر سرریز، مقادیر ضریب دبی اندازه‌گیری شده در سرریزهای مرکب قوس دایره‌ای- نوزنقه‌ای در محدوده ۰/۵۶ تا ۰/۸۱ و در سرریز نوزنقه‌ای در محدوده ۰/۵۵ تا ۰/۶۰ تغییر کرده

منابع مورد استفاده

- ارونقی، ه، مهتابی ق، ولی‌نیا م، قویدل ز و عظیمی و، ۱۳۹۰. بررسی ضریب دبی جریان در سرریز نوزنقه‌ای- نیم‌دایره‌ای. صفحه‌های ۱ تا ۷، دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۷ تا ۱۹ آبان ماه، دانشگاه گیلان.
- عباسپور، ۱۳۸۰. بررسی جریان بر روی سرریز مرکب مثلی- مستطیلی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد تأسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.
- محمدی ک، روشنی م و حسین‌زاده دلیر ع، ۱۳۸۹. برآورد و مقایسه دبی در سرریزهای لبه‌تیز ترکیبی با استفاده از فرمول‌های تئوریک و شبکه عصبی مصنوعی. صفحه‌های ۱ تا ۷، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۸ تا ۲۰ آبان ماه، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- موسوی سن، ۱۳۹۱. بررسی ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه‌تیز نوزنقه‌ای و مستطیلی قوس‌دار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد

سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

- موسوی سن، فرسادی‌زاده د، ارونقی ه و عباسپور ا، ۱۳۹۴. بررسی پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع غذایی)، جلد ۲۹، شماره ۴، صفحه‌های ۸۶۱ تا ۸۷۳.
- Aydin I, Altan-Sakarya AB and Sisman C, 2011. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs. *Flow Measurement and Instrumentation* 22: 144-151.
- Bergmann JM, 1963. Compound Weir Study. U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, United States.
- Bos MG, 1989. Discharge Measurement Structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 20, Wageningen, the Netherlands.
- Grant DM, Dawson BD, 1995. Open Channel Flow Measurement Handbook. 4th Edition, Isco Environmental Division, Lincoln, NE.
- Henderson FM, 1966. Open Channel Flow. Macmillan, New York.
- Jan CD, Chang CJ and Lee MH, 2006. Discussion of "Design and calibration of compound sharp-crested weir by Martinez J, Reza J, Morillas MT and Lopez JG, 2005.", *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 132(8): 868-872.
- Lee JT, Chan HC, Huang CK and Len JM, 2012. Experiments on hydraulic relations for flow over a compound sharp-crested weir. *International Journal of Physical Sciences* 7(14): 2229-2237.
- Kindsvater CE and Carter RW, 1959. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. *Transactions of the American Society of Civil Engineers* 124: 772-822.
- Martinez J, Reza J, Morillas MT and Lopez JG, 2005. Design and calibration of a compound sharp-crested weir. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 131(2): 112-116.
- Mohamed Ali AA, Ibrahim M and Diwedat AI, 2015. The discharge coefficient for a compound sharp crested V- notch weir. *Asian Journal of Engineering and Technology* 3(5): 494-500.
- Subramanya K, 2007. Flow in Open Channels. Tata McGraw-Hill publishing Co., New Delhi.
- Swamee PK, 1988. Generalized rectangular weir equation. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 114(8): 945-949.
- Vatankhah AR, 2010. Flow measurement using circular sharp-crested weirs. *Flow Measurement and Instrumentation* 21: 118-122.