

## مطالعه هیدرولیک جریان در سازه ترکیبی سرریز- دریاچه با سرریز مرکب دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی

مهسا پسر کلو<sup>۱</sup> و علیرضا عمادی<sup>۲\*</sup>

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی؛ و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران  
تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۷/۱۷

### چکیده

سرریزهای لبه تیز مرکب اغلب برای اندازه‌گیری دامنه‌ای وسیع از جریان و با دقت مناسب در کانال‌های روباز به کار گرفته می‌شوند. اما در مواردی که آب انتقالی حاوی مواد رسوبی و شناور باشد، مشکلاتی در نحوه عملکرد آنها ایجاد می‌شود. با ترکیب دریاچه و سرریز مرکب، می‌توان تا حدی این مشکل را برطرف کرد. هدف از این پژوهش، بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریز و سرریز- دریاچه با سه مقطع مرکب دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی در سه بازشدگی مختلف دریاچه برابر ۱/۵، ۳ و ۴/۵ سانتی‌متر است. آزمایش‌ها در یک فلوم مستطیلی به طول ۱۲ متر و عرض نیم متر اجرا شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که بر اساس داده‌های آزمایشگاهی، ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز مرکب، در محدوده ۰/۵۸ تا ۰/۸۵ و در سرریز- دریاچه مرکب، در محدوده ۰/۳۸ تا ۰/۷۸ است. به ازای بار آبی معین با افزایش بازشدگی دریاچه، دبی عبوری افزایش ولی ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد. همچنین، مقادیر محاسباتی و مشاهداتی ضریب دبی جریان بر اساس معیارهای ارزیابی، ضریب تبیین ( $R^2$ )، و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) که به ترتیب برابر ۰/۹۶ و ۰/۰۶ محاسبه شدند، مقایسه گردیدند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریز و سرریز- دریاچه مرکب دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی می‌دهد با دقتی قابل قبول ضریب دبی جریان را برآورد کند.

### واژه‌های کلیدی

اندازه‌گیری جریان، سرریز دایره‌ای، سرریز- دریاچه مرکب، ضریب دبی

### مقدمه

دبی آن وجود دارد اما دارای محدودیت‌هایی نیز هستند. به‌طور مثال، سرریز مثلثی بیشترین دقت را در اندازه‌گیری جریان‌های کم و سرریز مستطیلی بیشترین کارایی را در اندازه‌گیری دبی‌های بالا دارد. سرریز دایره‌ای بهترین مقطع هیدرولیکی در بین انواع سرریزهاست. در سرریزهای مرکب، ویژگی سرریزها با هم ادغام می‌شود (Ornaghi et al., 2011). سرریزهای لبه تیز مرکب در محدوده‌ای وسیع از دبی، در کانال کاربرد دارد و با دقت و حساسیت بیشتری جریان را اندازه‌گیری و کنترل می‌کند.

سرریزها از سازه‌هایی مهم هستند که همزمان با ساخت سدها بدان‌ها نیاز خواهد بود و امکان خروج سیلاب‌های اضافه بر ظرفیت سد و همچنین اندازه‌گیری و کنترل جریان را در کانال میسر می‌سازند. سهولت و دقت اندازه‌گیری دبی در شرایط مختلف جریان به طراحی شکل‌های مختلف سرریز انجامیده است و هر یک کاربرد ویژه خود را دارد. اگرچه سرریزهای لبه تیز ساده تئوری محاسباتی مشخصی دارند و روابط زیادی برای محاسبه

جریان در مرز سرریزهای مثلثی و مستطیلی، ضریب دبی به‌طور متناوب افزایش و کاهش می‌یابد. مارتینز و همکاران (Martinez *et al.*, 2005) با بررسی جریان روی سرریز لبه تیز مرکب مثلثی- مثلثی با اثبات پیوستگی رابطه دبی - اشل در تمامی عمق‌های جریان روی این نوع سرریز، آن را برای استفاده در سدهای رسوب‌گیر در حوضه‌های کوهستانی پیشنهاد کرده‌اند.

جان و همکاران (Jan *et al.*, 2006) با آزمایش روی چهار نوع سرریز لبه‌تیز مرکب مستطیلی- مستطیلی، مستطیلی- دوزنقه‌ای، مثلثی- مستطیلی، مثلثی- دوزنقه‌ای و با استفاده از مجموع دبی سرریزهای ساده به‌صورت ترکیب خطی به‌عنوان دبی کل سرریز مرکب نشان دادند که در رابطه دبی- اشل این نوع سرریزها در مرز دو سرریز، ناپیوستگی وجود دارد. اورنقی و همکاران (Ornaghi *et al.*, 2011) با بررسی ضریب دبی جریان در سرریز مرکب دوزنقه‌ای- دایره‌ای نشان دادند که با ترکیب سرریز دوزنقه‌ای و سرریز دایره‌ای، میزان ضریب دبی جریان حدود ۱۵ درصد نسبت به ضریب دبی سرریز دوزنقه‌ای افزایش می‌یابد. موسوی و همکاران (Mousavi *et al.*, 2015) با بررسی پارامترهای موثر بر ضریب دبی جریان در سرریز لبه‌تیز مرکب قوس دایره‌ای- مستطیلی نشان دادند که استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای لبه‌تیز دایره‌ای و مستطیلی، با دقت قابل قبولی می‌تواند ضریب دبی جریان را در سرریزهای مرکب برآورد کند.

عامری و همکاران (Ameri *et al.*, 2015) با بررسی ضریب دبی سرریز مرکب جانبی مثلثی- مستطیلی در شرایط جریان زیر بحرانی نشان دادند که ضریب تخلیه سرریز جانبی مرکب تابعی است از عدد فرود بالادست، نسبت ارتفاع وزنی تاج به عمق آب بالادست و نسبت طول به عمق آب بالادست. در مدل ترکیبی سرریز- دریچه می‌توان به پژوهش‌های نجم و همکاران

سرریزهای لبه‌تیز مرکب از چندین دهانه تشکیل و به شکل‌های مختلف طراحی می‌شوند به‌طوری‌که در زمان کم‌آبی با عبور جریان، تنها از روی مقطع اصلی سرریز هد بیشتری روی آن ایجاد می‌شود و با افزایش دبی در هنگام سیلاب، مقطع بالایی هم شروع به کار می‌کند و در نتیجه مانع افزایش سطح آب بالادست سرریز و برگشت آب می‌شود که در این شرایط، اندازه‌گیری با دقت بیشتری میسر خواهد بود (Boss, 1988).

دریچه‌ها نیز از جمله سازه‌های کنترل جریان هستند که در موارد مختلف به کار گرفته می‌شوند. در دریچه‌ها، جریان از زیر آنها عبور می‌کند و تنظیم و کنترل جریان بر اساس میزان بازشدگی آنهاست. سرریز سبب برگشت آب و در نتیجه افزایش سطح مقطع جریان و کاهش سرعت می‌شود و نیز شرایط مناسب برای ته‌نشینی رسوبات و مواد زاید را در آب ایجاد می‌کند که از معایب سازه محسوب می‌شود. با ترکیب سرریز و دریچه می‌توان مشکلات و معایب کاربرد جداگانه هر یک به تنهایی را کاهش داد و در عین حال از مزایای آنها استفاده کرد به‌طوری‌که مواد دارای قابلیت ته‌نشینی به‌راحتی از قسمت دریچه خارج و مواد معلق و شناور به شکل بهتری از قسمت سرریز تخلیه شوند (Negm *et al.*, 2002). تحقیقات و منابع منتشر شده در مورد سرریزهای دایره‌ای لبه‌تیز بسیار محدود است. بی‌نیازی از تنظیم تاج یا تراز کردن، یکی از مزایای مهم این سرریز است که در آن علاوه بر سهولت نصب، احتمال تولید خطاهای متداول نصب را حذف می‌کند. از جمله تحقیقات درباره سرریز دایره‌ای می‌توان به تحقیقات استیون (Stevens, 1957) و بالچاندر و همکاران (Balachandar *et al.*, 1991) اشاره کرد. یاسی و عباسپور (Yasi & Abbaspour, 2005) با بررسی جریان در سرریز لبه‌تیز مرکب مثلثی- مستطیلی با زاویه راس ۹۰ درجه در حالت با و بدون فشردگی جانبی به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع سطح آب روی سرریز در محدوده تداخل

بین سرریز و دریچه و با افزایش بازشدگی دریچه، مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد. خاسف و عباس (Khassaf & Abbas, 2013) با بررسی ضریب دبی در مدل سرریز مرکب مستطیلی- دوزنقه‌ای- مستطیلی با دریچه نیم‌دایره‌ای در آزمایشگاه نشان دادند که ضریب دبی با افزایش دبی و ارتفاع آب در بالادست سرریز افزایش و با افزایش فاصله مسدود بین سرریز و دریچه کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش ارتفاع سرریز مستطیلی پایینی در فاصله ثابت بین سرریز مستطیلی و دریچه، مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد.

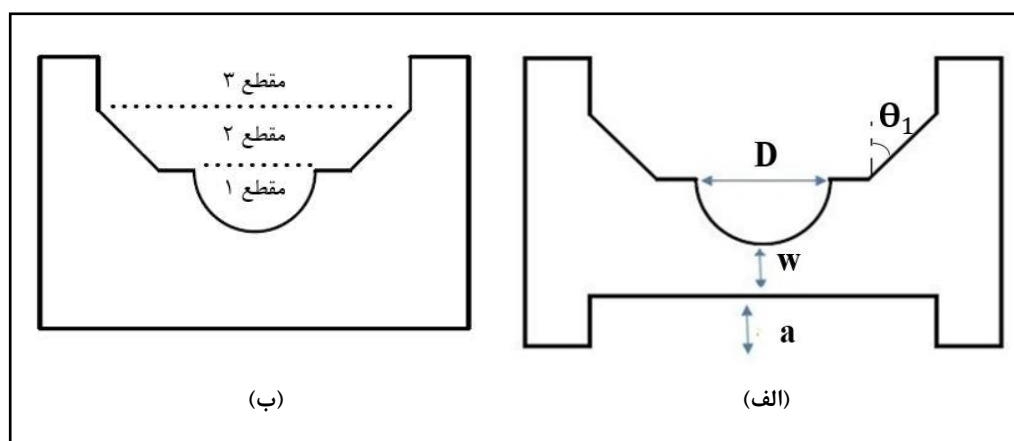
هدف از این پژوهش، بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- دریچه در سه بازشدگی مختلف  $1/5$ ،  $3$  و  $4/5$  سانتی‌متر و مقایسه با سرریز مرکب است.

### مواد و روش‌ها

#### روابط ریاضی

شکل ۱ به صورت شماتیک سرریز و سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- دریچه را نشان می‌دهد.

(Negm *et al.*, 1994; 1997) اشاره کرد که اثر پارامترهای هندسی مدل را روی جریان ترکیبی در حالت سرریز مثلثی با فشردگی جانبی و دریچه معکوس مثلثی بررسی کردند که زاویه آن بین  $45$  تا  $110$  درجه متغیر است؛ آنها همچنین سرریز مثلثی روی دریچه مستطیلی فشرده را بررسی کرده و نشان دادند که استفاده از ضریب شدت جریان معمول برای این‌گونه سرریزها و دریچه‌ها در حالت ترکیبی، می‌تواند خطای بزرگی ایجاد کند. این محققان معادله‌ای نیز برای زاویه  $90$  درجه دریچه پیشنهاد کردند. صفار و کاشفی‌پور (Saffar & Kashefipour, 2008) با مدل‌سازی اثر هیدرولیکی جریان و هندسه مجرا بر شدت جریان در سیستم سرریز- دریچه نتیجه گرفتند که  $H/a$  (بازشدگی دریچه و  $H$  عمق آب بالادست)، موثرترین پارامتر در تعیین دبی عبوری از مدل با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی است. حیدرپور و همکاران (Heidarpour *et al.*, 2014) روی دریچه کشویی و سرریز دوزنقه‌ای در حالت لبه تیز را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش دبی و ارتفاع آب در بالادست سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین، با ثابت در نظر گرفتن فاصله مسدود



شکل ۱- الف) مدل سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه- مستطیلی) - دریچه و ب) سرریز مرکب

در صورت عبور آب از سه مقطع دبی عبوری از سرریز مرکب، از ترکیب خطی جریان در سرریزهای مستطیلی، دوزنقه‌ای و دایره‌ای، طبق رابطه ۴ محاسبه می‌شود (Tai-Lee et al., 2012; Mousavi et al., 2015).

$$Q = C_{d3} \frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} C_{d2} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + C_{d1} 2 \sqrt{2g} (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D \quad (4)$$

که در آن،

$C_{d1}$ ،  $C_{d2}$  و  $C_{d3}$  = به ترتیب ضریب دبی جریان در دهانه سرریز دایره‌ای، دوزنقه‌ای؛ و مستطیلی؛  $h_1$ ،  $h_2$  و  $h_3$  = بار آبی موثر بر هر مقطع سرریز؛ و  $b_2$  و  $b_3$  = عرض موثر سرریز در مقطع ۲ و ۳ (Kindsvater & Carter, 1959; Boss, 1998).

همچنین، دبی عبوری از سرریز-دریچه مرکب از ترکیب خطی جریان در سرریزهای مستطیلی، دوزنقه‌ای و دایره‌ای و دریچه مستطیلی، طبق رابطه ۵ محاسبه می‌شود (Khassaf & Abbas, 2013).

$$Q = C_{d3} \frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} C_{d2} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + C_{d1} 2 \sqrt{2g} (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D + C_{d4} \alpha b \sqrt{2gH} \quad (5)$$

که در آن،

$H$ ،  $\alpha$ ،  $b$  و  $C_{d4}$  = به ترتیب عمق آب بالادست سرریز-دریچه؛ بازشدگی؛ عرض؛ و ضریب دبی دریچه مستطیلی. در حالت کلی، در صورت عبور آب از سه مقطع سرریز مرکب، ضریب دبی جریان مشاهداتی ( $C_{dm}$ ) طبق رابطه ۶ محاسبه می‌شود. ضریب دبی عبوری از سرریز-دریچه مرکب دایره‌ای-دوزنقه‌ای-مستطیلی (مشاهداتی) از رابطه ۷ به دست می‌آید. با ترکیب رابطه‌های ۴ و ۶،

در سرریز و سرریز-دریچه مرکب مورد استفاده، چند وضعیت جهت تحلیل جریان بررسی شد. به صورتی که وقتی آب از سه مقطع می‌گذرد، دبی از مجموع یک مقطع مستطیلی، یک مقطع دوزنقه‌ای و یک مقطع نیم‌دایره با دریچه و قرار دادن عمق موثر بر روی هر مقطع به دست می‌آید. در واقع ضریب دبی با استفاده از روش خطی محاسبه می‌شود.

در حالت سرریز-دریچه دبی کل از مجموع دبی عبوری از سرریز و دریچه (رابطه ۱) به دست می‌آید.

$$Q_t = Q_w + Q_g \quad (1)$$

که در آن،

$Q_w$  = دبی عبوری از روی سرریز؛  $Q_g$  = دبی عبوری از زیر دریچه؛ و  $Q_t$  = دبی عبوری از مدل ترکیبی.

رابطه جریان در سرریز دایره‌ای، به صورت رابطه ۲ است (Vatankhah, 2010).

$$Q = C_d \cdot 2 \sqrt{2g} \cdot (h)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D \quad (2)$$

که در آن،

$D$  = قطر سرریز دایره‌ای لبه تیز؛  $h$  = ارتفاع آب بالادست سرریز؛ و  $C_d$  = ضریب دبی.

مقدار  $\varphi(\eta)$  با استفاده از رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$\varphi(\eta) = 0.1963 \cdot \eta^{0.5} \cdot (\sqrt{1 - 0.2200\eta}) + \frac{1}{\sqrt{1 - 0.7730\eta}} \quad (3)$$

در اینجا،  $\eta$  نسبت پرشدگی سرریز به صورت  $\eta = \frac{h}{D}$  بیان می‌شود که این نسبت برای  $0 < \eta < 1$  استفاده می‌شود.

ضریب دبی جریان کلی محاسباتی سرریز مرکب از ضریب دبی جریان کلی محاسباتی سرریز مرکب از رابطه ۸ محاسبه می‌شود. با ترکیب رابطه‌های ۵ و ۷، ضریب دبی جریان کلی محاسباتی سرریز-دریچه مرکب از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$Q = C_{dm} \left( \frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + 2\sqrt{2g} \cdot (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D \right) \quad (6)$$

$$Q = C_{dm} \left( \frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + 2\sqrt{2g} \cdot (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D + \alpha b \sqrt{2gH} \right) \quad (7)$$

$$C_{dc} = \frac{C_{d3} \frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} C_{d2} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + C_{d1} 2\sqrt{2g} \cdot (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D}{\frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + 2\sqrt{2g} \cdot (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D} \quad (8)$$

$$C_{dc} = \frac{C_{d3} \frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} C_{d2} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + C_{d1} 2\sqrt{2g} \cdot (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D + C_{d4} \alpha b \sqrt{2gH}}{\frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + 2\sqrt{2g} \cdot (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta) \cdot D + \alpha b \sqrt{2gH}} \quad (9)$$

## تحلیل ابعادی

$h$  = هد موثر روی هر مقطع سرریز در بالادست؛  $\theta_1$  = درجه شیب مقطع ۲؛  $a$  = بازشدگی دریچه؛  $b_2$  و  $b_3$  = عرض موثر سرریز به ترتیب در مقاطع ۲ و ۳؛  $w$  = فاصله کف مقطع اول سرریز تا ابتدای بازشدگی دریچه؛ و  $b$  = عرض دریچه است. با استفاده از تحلیل ابعادی به روش باکینگهام، روابط بدون بعد ۱۲ و ۱۳ برای سرریز و سرریز-دریچه مرکب حاصل شد.

با در نظر گرفتن متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی موثر بر جریان آزاد روی سرریز و سرریز-دریچه مرکب لبه‌تیز، تابع جریان را به صورت روابط ۱۰ و ۱۱ می‌توان نوشت.

$$f(h, p, Q, b_2, b_3, \theta_1, \rho, \sigma, \mu, g, H, D) \quad (10)$$

$$f(h, a, p, Q, w, b, b_2, b_3, \theta_1, \rho, \sigma, \mu, g, H, D) \quad (11)$$

با صرف نظر کردن از نیروهای کشش سطحی و لزوجت در سرریز و سرریز-دریچه مرکب در جریان آزاد، ضریب دبی به صورت رابطه ۱۴ و ۱۵ قابل محاسبه است.

در رابطه ۱۰، دوازده متغیر و در رابطه ۱۱، پانزده متغیر مستقل با سه کمیت اصلی (طول، جرم، زمان) وجود دارد.

برای شرایط جریان آزاد روی سرریز و سرریز-دریچه مرکب، روابط ابعادی به صورت روابط ۱۶ و ۱۷ نوشته می‌شود (Mousavi et al., 2015).

که در آنها،

با مقایسه و ترکیب روابط ۶ و ۱۶ و روابط ۷ و ۱۷، روابط جریان آزاد روی سرریز و سرریز-دریچه مرکب به ترتیب به صورت روابط ۱۸ و ۱۹ ارائه می‌شود.

$P$  = ارتفاع سرریز؛  $\mu$  = لزوجت دینامیکی؛  $\sigma$  = کشش سطحی؛  $Q$  = دبی جریان عبوری از سازه ترکیبی؛  $p$  = جرم مخصوص؛  $g$  = شتاب ثقل؛  $H$  = ارتفاع آب بالادست سازه؛

$$\left( \frac{\rho g^2 h^3}{\mu}, \frac{\rho^2 g^2 h}{\sigma^2}, \frac{Q}{g^2 b_3 h^2}, \frac{Q}{g^2 b_2 h^2}, \frac{Q}{g^2 D h^2}, \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{P}, \frac{h}{H}, \frac{h}{D}, \theta_1 \right) = 0 \quad (12)$$

$$\left( \frac{\rho g^2 h^3}{\mu}, \frac{\rho^2 g^2 h}{\sigma^2}, \frac{Q}{g^2 b_2 h^2}, \frac{Q}{g^2 D h^2}, \frac{Q}{g^2 b_3 h^2}, \frac{Q}{g^2 b h^2}, \frac{h}{b}, \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{P}, \frac{h}{a}, \frac{h}{H}, \frac{h}{D}, \theta_1 \right) = 0 \quad (13)$$

$$f \left( \frac{Q}{g^2 b_2 h^2}, \frac{Q}{g^2 D h^2}, \frac{Q}{g^2 b_3 h^2}, \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{P}, \frac{h}{H}, \frac{h}{D}, \theta_1 \right) = 0 \quad (14)$$

$$f \left( \frac{Q}{g^2 b_2 h^2}, \frac{Q}{g^2 D h^2}, \frac{Q}{g^2 b_3 h^2}, \frac{Q}{g^2 b h^2}, \frac{h}{b}, \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{P}, \frac{h}{a}, \frac{h}{H}, \frac{h}{D}, \theta_1 \right) = 0 \quad (15)$$

$$\frac{Q}{\frac{1}{g^2 b_2 h^2} + \frac{1}{g^2 D h^2} + \frac{1}{g^2 b_3 h^2}} = f \left( \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{P}, \frac{h}{H}, \frac{h}{D}, \theta_1 \right) \quad (16)$$

$$\frac{Q}{\frac{1}{g^2 b_2 h^2} + \frac{1}{g^2 D h^2} + \frac{1}{g^2 b_3 h^2} + \frac{1}{g^2 b h^2}} = f \left( \frac{h}{b}, \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{P}, \frac{h}{a}, \frac{h}{H}, \frac{h}{D}, \theta_1 \right) \quad (17)$$

$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + 2\sqrt{2g} (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta). D} \quad (18)$$

$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} (b_3) \sqrt{2g} (h_1)^{1.5} + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (h_2 - h_1)^{1.5} \left( b_2 + \left( \frac{4}{5} \tan \frac{\theta_1}{2} \right) (h_2 - h_1) \right) + 2\sqrt{2g} (h_3 - h_2)^{1.5} \cdot \varphi(\eta). D + \alpha b \sqrt{2gH}} \quad (19)$$

از صفحات پلاکسی گلاس به‌عنوان مدل سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- و سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- در پیچه با نسبت  $\frac{w}{a}$  برابر  $\frac{6}{33}$ ،  $\frac{2}{67}$  و  $\frac{1}{44}$  استفاده شد ( $a$  = بازشدگی در پیچه و  $w$  = فاصله کف مقطع اول سرریز تا ابتدای بازشدگی در پیچه). همچنین به‌منظور سادگی ارائه نتایج، شکل‌های مرتبط مدل‌ها به‌صورت علامت اختصاری نام‌گذاری شده‌اند. سرریز مرکب دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی با نام اختصاری WCCTR و سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- در پیچه با نام اختصاری WCCTR-a<sup>1</sup> معرفی می‌شوند. در این بررسی، برای استقرار هر مدل ترکیبی ۱۴ تا ۱۶ دبی متفاوت (حداقل ۷۰ آزمایش) بر اساس مدل‌ها و ابعاد کانال اعمال شد به‌طوری‌که در حداکثر دبی، جریان از روی مدل سرریز نکند و در حداقل دبی، جریان روی تاج سرریز از ۲ سانتی‌متر کمتر نباشد.

با استفاده از توابع ابعادی ۲۰ و ۲۱، ضریب دبی جریان آزاد روی سرریز و سرریز- در پیچه مرکب بر حسب پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی معین در آن و نیز تأثیر عوامل نامعین پنهان (نظیر لزوجت، کشش سطحی، توزیع غیر هیدرواستاتیکی فشار روی سرریز و غیره) مستقیماً و به‌صورت تجربی قابل ارزیابی هستند.

$$C_d = f \left( \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{P}, \frac{h}{H}, \frac{h}{D}, \theta_1 \right) \quad (20)$$

$$C_d = f \left( \frac{h}{b}, \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{D}, \frac{w}{a}, \frac{h}{P}, \frac{h}{H}, \frac{h}{a}, \theta_1 \right) \quad (21)$$

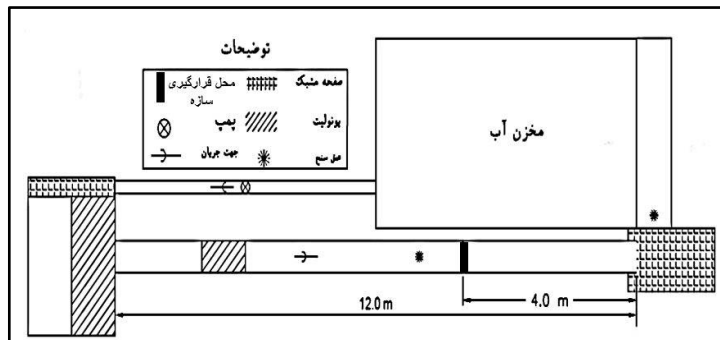
### تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه اجرای آزمایش

آزمایش‌ها در فلومی به طول ۱۲، عرض ۰/۵ و ارتفاع ۰/۸ متر در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در محدوده ۱/۵ تا ۴۰ لیتر بر ثانیه اجرا و دبی با استفاده از سرریز مثلثی ۹۰ درجه اندازه‌گیری شد. در این پژوهش

1- WCCTR (Weir, Compound, Circular, Trapezoidal, Rectangular, Gate)

شکل ۲ فلوم را از بالا نشان می‌دهد. در آزمایش‌ها عمق جریان در بالادست سرریز-دریچه، عمق آب در پایین‌دست سرریز-دریچه، عمق

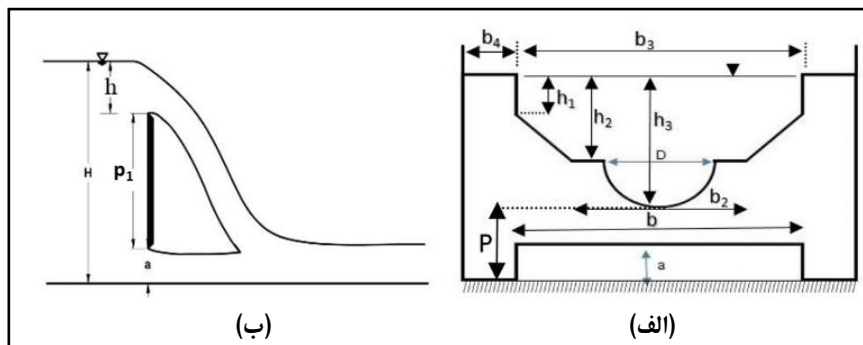
آب روی سرریز مثلثی (جهت اندازه‌گیری دبی) با استفاده از دو عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر برداشت شد.



شکل ۲- نما از بالای فلوم تحقیقاتی

شکل ۳ نمای شماتیک سرریز-دریچه مرکب و شکل ۴ نمایی از سرریز-دریچه مرکب نصب شده در فلوم را نشان می‌دهد. آزمایش‌ها برای ترکیبات مختلف دبی و عمق جریان بالادست در حالت شیب کف افقی کانال اجرا

شد. جدول ۱ مشخصات سرریز و سرریز-دریچه‌های به کار رفته در پژوهش و جدول ۲ محدوده پارامتر مورد بررسی را نشان می‌دهد که در آن  $\theta$  بر حسب درجه و بقیه پارامترها بر حسب سانتی‌متر هستند.



شکل ۳- (الف) نما شماتیک مقطع عرضی مدل سرریز-دریچه و (ب) نما شماتیک مقطع طولی مدل سرریز-دریچه



شکل ۴- نمایی از جریان ریزشی در سرریز-دریچه مرکب نصب شده در فلوم آزمایشگاهی

جدول ۱- مشخصات سرریز و سرریز- دریاچه مرکب به کار رفته در تحقیق

مدل	a	$\Theta$	D	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	B	b	P	W	P <sub>1</sub>
WGCCTR	۰،۱/۵، ۰،۳/۰، ۴/۵	۴۵	۱۴	۲۲	۳۶	۶/۷۵	۵۰	۳۶	۱۱	۰،۹/۵، ۰،۸/۰، ۶/۵	۳۱
WCRTTR	۰	۴۵	۱۴	۲۲	۳۶	۶/۷۵	۵۰	۰	۱۱	۰	۳۱

جدول ۲- محدوده پارامترهای مورد استفاده در پژوهش

پارامترها	Q	Fr	h/a	h/y	h/p
محدوده	۱/۵ - ۴۰ (L/S)	۰/۰۶ تا ۰/۴۴	۳/۳ تا ۲۰/۶	۱-۶/۵۶	۱-۳/۲

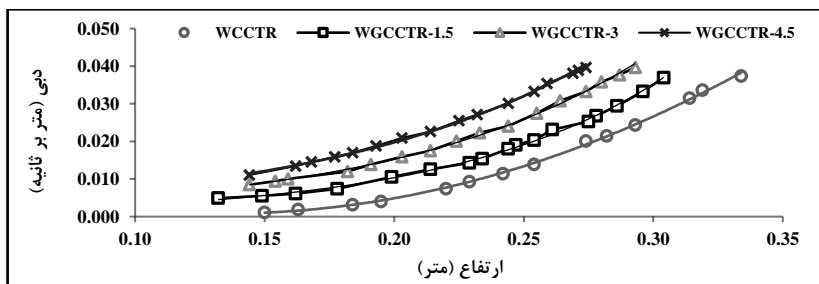
## نتایج و بحث

عمق آب بالادست و افزایش بازشدگی دریاچه، تأثیر دریاچه بر جریان عبوری، نسبت به سرریز بیشتر می‌شود و شکل منحنی به فرم دبی-اشل دریاچه تمایل پیدا می‌کند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در رابطه دبی-اشل سرریز- دریاچه مرکب در تمامی عمق‌های جریان، پیوستگی وجود دارد. با کاهش  $w/a$ ، عمق جریان در سرریز- دریاچه مرکب به‌طور میانگین  $۷/۲$ ،  $۱۴/۱$  و  $۲۳/۲$  درصد به‌ترتیب برای WGCCTR-1.5، WGCCTR-3 و WGCCTR-4.5 کاهش می‌یابد. همچنین، در یک عمق ثابت با کاهش  $w/a$ ، دبی جریان نسبت به حالت سرریز به‌طور میانگین  $۳۷/۵$ ،  $۵۷/۱$  و  $۷۷/۲$  درصد به‌ترتیب برای WGCCTR-1.5، WGCCTR-3 و WGCCTR-4.5 افزایش می‌یابد.

در این پژوهش رابطه دبی-اشل در سرریز و سرریز- دریاچه مرکب و تأثیر بازشدگی دریاچه به‌ازای تغییرات بار آبی با نسبت‌های بی‌بعد  $\frac{h}{p}$  و  $\frac{h}{a}$  بر ضریب دبی جریان بررسی شد و رابطه تجربی برای محاسبه ضریب دبی به‌دست آمده است.

## بررسی رابطه دبی-اشل

شکل ۵ رابطه دبی-اشل سرریز و سرریز مرکب (دایره‌ای- ذوزنقه‌ای- مستطیلی)- دریاچه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، در یک ارتفاع ثابت، با افزایش بازشدگی دریاچه میزان دبی عبوری از سرریز- دریاچه مرکب افزایش می‌یابد. همچنین، با کاهش



شکل ۵- منحنی دبی-اشل سرریز و سرریز مرکب (دایره‌ای- ذوزنقه‌ای- مستطیلی)- دریاچه

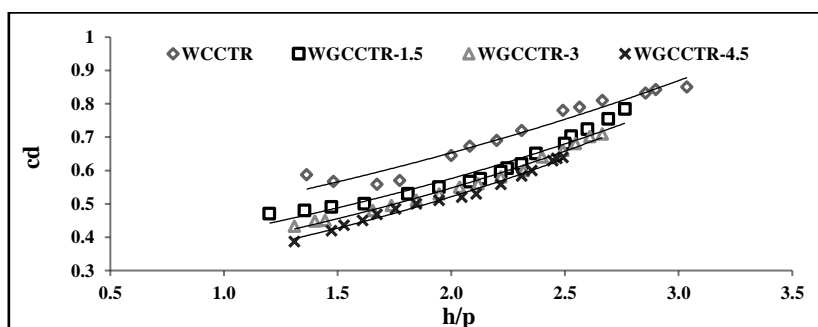
۱۱/۹، ۲۰/۱ و ۲۶/۳ درصد به‌ترتیب برای WGCCTR-1.5، WGCCTR-3 و WGCCTR-4.5 نسبت به حالت سرریز کاهش می‌یابد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش پارامتر  $h/p$  میزان ضریب دبی در حالت سرریز مرکب دایره‌ای- ذوزنقه‌ای- مستطیلی، در مقطع اول

بررسی تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد  $h/p$  شکل ۶ تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد  $h/p$  را در سرریز و سرریز- دریاچه مرکب نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در یک  $h/p$  ثابت با افزایش بازشدگی دریاچه، میزان ضریب دبی در سرریز- دریاچه مرکب به‌طور متوسط



سرریز و دریچه سبب شده میزان ضریب دبی روند افزایشی پیدا کند. همچنین، ترکیب سرریز دایره با دریچه سبب شده در یک ارتفاع ثابت، سطح مقطع بیشتری برای عبور جریان ایجاد و افت انرژی کمتر شود و ضریب دبی افزایش یابد. در واقع در سرریز مرکب دایره- دوزنقه- مستطیلی نبودن دریچه باعث می شود که تداخل جریان حتی در محدوده جریان های کم نیز وجود داشته باشد که در این صورت، دوزنقه ای بودن سرریز در مقطع دوم، باعث کاهش تداخل جت های آب می شود و در افزایش ضریب دبی جریان در تمامی محدوده های جریان موثر خواهد بود. نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش های اسماعیلی و فتحی مقدم (Esmaeili & Fathimoghadam, 2006)، که ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز- دریچه را بررسی کردند و همچنین با نتایج پژوهش های وطن خواه (Vatankhah, 2010) در مورد روند تغییرات ضریب دبی در سرریزهای دایره ای، همخوانی دارد.

سرریز یعنی  $h/p < 0.7$  ابتدا کاهش می دهد و در مقطع دوم (مقطع دوزنقه ای) و مقطع سوم (مستطیلی) افزایش می دهد. در نهایت از شیب تغییرات ضریب دبی کاسته می شود و ضریب دبی به سمت ثابت شدن میل می کند. ولی چون محدوده داده ها برای دبی های بیشتر وجود ندارد، این ثابت شدن به طور کامل مشاهده نمی شود. در حالت سرریز- دریچه مرکب، ضریب دبی ابتدا با شیب کم و سپس با شیب بیشتر افزایش می یابد. با افزایش بازشدگی دریچه، روند آن در مقطع اول با کاهش دبی و کاهش طول موثر سرریز تحت تأثیر دریچه قرار می گیرد و با شیب بیشتر، افزایش می شود. به عبارتی دیگر، هنگامی که جریان از مقطع اول در سرریز عبور می کند ضریب دبی کاهش می دهد در حالت سرریز- دریچه افزایشی است که این مقدار افزایشی در سرریز- دریچه با افزایش بازشدگی بیشتر می شود. احتمالاً ضریب دبی سرریز دایره نسبت به دریچه جداگانه در دبی های پایین، کمتر بوده که استفاده همزمان



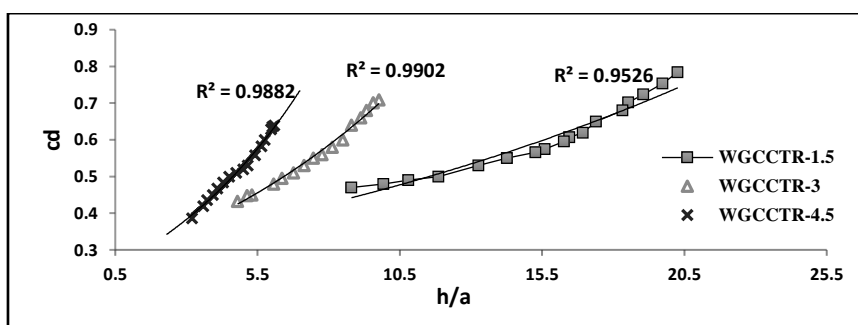
شکل ۶- تغییرات Cd با پارامتر بدون بعد h/p در سرریز مرکب و سرریز مرکب (دایره ای- دوزنقه ای- مستطیلی)- دریچه

مدل های WGCCTR-3، WGCCTR-4.5، WGCCTR-1.5 و WGCCTR-1.5 به ترتیب  $Cd < 0.63$ ،  $Cd < 0.38$ ،  $Cd < 0.7$  و  $Cd < 0.43$ ، و همچنین، با افزایش  $w/a$  میزان ضریب دبی به طور نسبی به میزان ۷/۱ درصد افزایش می یابد. در واقع، با افزایش بازشدگی و کاهش عمق آب بالادست، سازه تحت تأثیر دریچه قرار می گیرد به طوری که وقتی جریان در مقطع اول یعنی هندسه سرریز دایره ای در مدل WGCCTR است، اثر دریچه در بازشدگی های بالاتر

بررسی تغییرات Cd با پارامتر بدون بعد h/a در مدل های WGCCTR شکل ۷ تغییرات Cd با پارامتر بدون بعد h/a را در سرریز- دریچه مرکب با بازشدگی های مختلف نشان می دهد. با توجه به این شکل، با افزایش h/a ضریب دبی مدل ها افزایش می یابد که این افزایش در بازشدگی بالاتر دارای شیب بیشتری است. به طوری که با کاهش بازشدگی دریچه، محدوده تغییرات ضریب دبی برای

از جریان ریزشی سرریز، یا به عبارتی، تغییر مومنوم اجباری، روبه‌رو می‌شود که عامل ایجاد گردابه‌هایی در محل برخورد دو جریان در پشت سازه است. از نکات قابل توجه دیگر، افت انرژی به‌دست آمده از برخورد دو جریان است. هرچه آب در بالادست این سازه بیشتر باشد، برخورد شدیدتر است و با افزایش بازشدگی، ضریب دبی کمتر می‌شود.

بیشتر دیده می‌شود. در واقع، زمانی که جریان همزمان از سازه ترکیبی عبور می‌کند، دریچه با حداکثر ظرفیت دبی عبوری عمل خواهد کرد. ولی همان‌طور که مشاهده می‌شود در سرریز- دریچه با بازشدگی کمتر، سرریز بر دریچه غالب می‌شود. علت کمتر بودن ضریب دبی در بازشدگی بیشتر، این است که جریان عبوری از زیر دریچه در برابر خود با مقاومت ناشی



شکل ۷- تغییرات  $C_d$  با پارامتر بدون بعد  $h/a$  در سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- دریچه

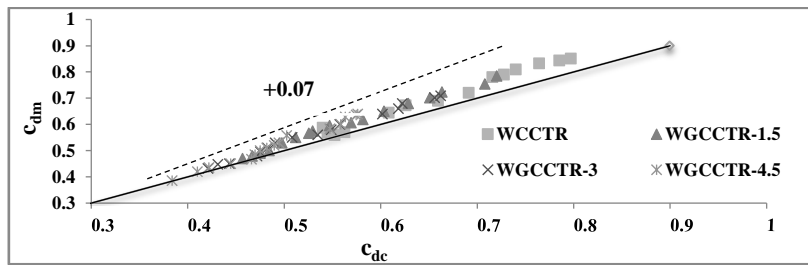
بالاتر، یعنی زمانی که آب از مقطع مستطیلی (مقطع سوم) می‌گذرد، بیشتر است. از عوامل موثر در بروز اختلاف می‌توان به رابطه تئوری ضریب دبی جریان در حالت مرکب اشاره کرد که با فرض ترکیب خطی روابط جریان در سرریزهای ساده به‌دست آمده است. تأثیر دیواره‌های جانبی فلوم، دقت اندازه‌گیری بار آبی و دبی جریان، شرایط ورودی جریان در فلوم، گسترش محدوده روابط تجربی ارائه شده در منابع علمی برای ضریب دبی جریان در سرریزهای ساده نیز از دیگر عوامل بروز اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی ضریب دبی جریان هستند. مطابق نتایج بررسی‌های آیدین و همکاران (Aydin *et al.*, 2011)، روابط موجود در منابع علمی برای جریان در سرریزهای لبه تیز مستطیلی راه حل منحصر به فردی ارائه نمی‌دهند. از این رو اختلاف معنی‌دار بین روابط پیشنهاد شده محققان وجود دارد تا آنجا که داده‌های مطالعات اخیر با هیچ یک از روابط موجود برای ضریب دبی جریان نمی‌توانند به‌صورت کامل بیان شوند.

#### مقایسه ضریب دبی جریان محاسباتی و مشاهداتی

شکل ۸ ضریب دبی جریان محاسباتی و مشاهداتی سرریز و سرریز- دریچه مرکب را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مقادیر ضریب دبی جریان محاسباتی و ضریب دبی جریان مشاهداتی با هم انطباق قابل قبولی دارند. همان‌طور که در بخش مواد و روش‌ها بیان شد، ضریب دبی جریان مشاهداتی یا اندازه‌گیری شده ( $C_{dm}$ ) سرریز و سرریز- دریچه مرکب، از رابطه ۶ و ۷ به‌دست می‌آید که در آن  $Q$ ، دبی جریان اندازه‌گیری شده با استفاده از سرریز لبه تیز مثلثی واسنجی شده در انتهای فلوم است. ضریب دبی جریان محاسباتی یا برآورد شده ( $C_{dc}$ ) سرریز و سرریز- دریچه مرکب، از روابط ۸ و ۹ به‌دست می‌آید. رابطه‌های مذکور از ترکیب خطی روابط دبی جریان در سرریزهای لبه تیز دایره‌ای، دوزنقه‌ای و مستطیلی و دریچه لبه تیز مستطیلی شکل استخراج شده است. متوسط مقادیر ضریب تبیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده<sup>۱</sup> به ترتیب ۰/۹۶ و ۰/۰۶ است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان اختلاف  $C_{dm}$  و  $C_{dc}$  در دبی‌های

کلی ساده و منحنی‌هایی با انحنای منحصر به فرد دارد. جدول ۳ مقایسه ضریب دبی به دست آمده در این پژوهش با ضریب دبی به دست آمده از پژوهش‌های دیگر محققان را نشان می‌دهد.

آیدین و همکاران (Aydin *et al.*, 2011) به جای استفاده از ضریب دبی جریان که خطای آزمایش را با تغییر انحنای بزرگ‌نمایی می‌کند، پارامتر سرعت جریان متوسط در مقطع سرریز را پیشنهاد می‌کنند که توزیع



شکل ۸- مقایسه مقادیر ضریب دبی جریان در سرریز و سرریز مرکب (دایره‌ای - دوزنقه‌ای - مستطیلی) - دریچه

جدول ۳ - مقایسه ضریب دبی به دست آمده در این پژوهش با ضریب دبی به دست آمده از پژوهش‌های دیگر محققان

محقق	موضوع	محدوده آزمایش	نتیجه
نجم و همکاران (Negm <i>et al.</i> , 2002)	بررسی جریان ترکیبی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و دریچه مستطیلی با فشردگی جانبی	$2.5 < H/a < 7.6$ $0.647 < b/a < 5$ $0.437 < y/a < 4$	محدوده ضریب دبی: $0.51 < C_d < 0.68$
رضویان و حیدرپور (Razavian & Heidarpour, 2007)	بررسی جریان ترکیبی از سرریز دوزنقه‌ای و دریچه مستطیلی در کانال مستطیلی در شرایط جریان آزاد و مستغرق	$1.25 < y/d < 4$ $0.125 < b/B < 0.5$ $45, 60, 90 = \theta$	محدوده ضریب دبی: برای جریان آزاد $0.56 < C_d < 0.62$
خاسف و عباس (Khassaf & Abbas, 2013)	بررسی ضریب دبی در مدل سرریز مرکب مستطیلی-دوزنقه‌ای - مستطیلی با دریچه نیم‌دایره‌ای	$0.64 < Z/D < 0.84$ $2.4 < H/D < 3.1$	$0.427 < C_d < 0.543$
موسوی و همکاران (Mousavi <i>et al.</i> , 2015)	بررسی پارامترهای موثر بر ضریب دبی جریان در سرریز لبه تیز مرکب قوس دایره‌ای - مستطیلی	$0/14 < h/p < 0/82$	محدوده ضریب دبی: $0.543 < C_d < 0.894$
تحقیق حاضر	بررسی پارامترهای موثر بر ضریب دبی جریان سازه ترکیبی سرریز - دریچه با سرریز مرکب دایره‌ای - دوزنقه‌ای - مستطیلی	$3.3 < h/a < 20.26$ $1.44 < w/a < 6.33$	محدوده ضریب دبی: برای سرریز مرکب $0.58 < C_d < 0.85$ برای سرریز-دریچه مرکب $0.38 < C_d < 0.78$

H=ارتفاع آب بالادست؛ a = بازشدگی دریچه؛  $\theta$  = زاویه بازشدگی سرریز دوزنقه؛ P = ارتفاع سازه؛ D = قطر دریچه؛ Z = ارتفاع سرریز مستطیلی

دبی و شناسه‌های بی‌بعد  $\frac{h}{b}, \frac{h}{b_2}, \frac{h}{b_3}, \frac{h}{p}, \frac{h}{D}, \frac{w}{a}, \frac{h}{H}, \frac{h}{a}, \theta$  برای حالت سرریز مرکب (دایره - دوزنقه‌ای - مستطیلی) - دریچه در قالب رابطه ۲۲ به دست آمده است.

### استخراج معادله تجربی

از طریق آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Solver Excel، روابط همبستگی غیرخطی بین ضریب

افزایش بازشدگی دریچه، ضریب دبی سرریز- دریچه کاهش می‌یابد. علاوه بر این، تداخل جریان عبوری از روی سرریز و زیر دریچه نیز باعث کاهش گذردهی جریان می‌شود که این اثر با افزایش بازشدگی، تشدید خواهد شد.

- با توجه به پارامترهای موثر بر سرریز و سرریز- دریچه، ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه‌تیز مرکب در محدوده ۰/۵۸ تا ۰/۸۵ و در سرریز- دریچه مرکب در محدوده ۰/۳۸ تا ۰/۷۸ است.

- با افزایش  $w/a$ ، ضریب دبی سرریز- دریچه مرکب به‌طور نسبی به‌میزان ۷/۱ درصد افزایش می‌یابد.

- در رابطه دبی- اشل مدل‌های سرریز و سرریز- دریچه مرکب در تمامی عمق‌های جریان، پیوستگی وجود دارد و به علت تغییرات شدید دبی، از زمان ورود تا خاتمه جریان (زمان‌های سیلابی) کاربرد این سرریزها و سرریز- دریچه‌ها بسیار مناسب است.

- در سرریز دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی تغییرات ضریب دبی با افزایش  $h/p$  و وقتی جریان در هندسه سرریز دایره‌ای قرار می‌گیرد ( $h/p < 0.7$ )، ابتدا کاهش و وقتی جریان در هندسه سرریز دوزنقه‌ای و مستطیلی قرار می‌گیرد افزایشی است. با افزایش بازشدگی دریچه، روند آن در مقطع اول با کاهش دبی و کاهش طول موثر سرریز تحت تأثیر دریچه قرار می‌گیرد و افزایشی می‌شود.

- وجود دریچه در سرریز مرکب در محدوده جریان‌های کم، تأثیر بیشتری بر کاهش ضریب دبی و در نتیجه بر افزایش دبی عبوری خواهد داشت بنابراین بالاترین کارایی مدل ترکیبی سرریز- دریچه مرکب در  $h/p$  بیشتر توصیه می‌شود.

- بر اساس معیارهای ارزیابی، استفاده از ترکیب خطی روابط جریان در سرریز و سرریز- دریچه مرکب دایره‌ای دوزنقه‌ای - مستطیلی با دقت قابل قبول قادر به برآورد ضریب دبی جریان خواهد بود.

$$C_d = 0.153 \left(\frac{h}{b}\right)^{0.726} - 0.403 \left(\frac{h}{b_2}\right)^{0.31} + 0.154 \left(\frac{h}{b_3}\right)^{0.727} + 0.089 \left(\frac{h}{D}\right)^{0.386} - 0.1624 \left(\frac{h}{P}\right)^{-3.94} + 0.627 \left(\frac{W}{a}\right)^{0.708} - 0.728 \left(\frac{h}{H}\right)^{-0.899} - 5.896 \left(\frac{h}{a}\right)^{-16.47} \quad (22)$$

بر اساس ضرایب ثابت رابطه ۲۲، مشخص می‌شود که ضریب دبی سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- دریچه با تغییر بازشدگی دریچه، با مشخصه  $\frac{h}{a} \frac{h}{H} \frac{h}{P}$  رابطه عکس دارد و حساسیت ضریب دبی در این حالت به تغییرات مشخصه  $\frac{h}{a}$  بیشتر است. آزمون صحت‌سنجی با استفاده از ۲۰ درصد داده‌ها، برای سرریز- دریچه مرکب دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی با تغییر بازشدگی دریچه، نشان می‌دهد که رابطه ۱۷ به لحاظ مهندسی از دقت خوبی برخوردار است و مقادیر ضریب تبیین و جذر میانگین مربعات خطا به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۰۲ است.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها به‌منظور بررسی ضریب دبی جریان در سرریز مرکب (دایره‌ای- دوزنقه‌ای- مستطیلی)- دریچه با تغییر بازشدگی دریچه اجرا شده است. مزیت این سرریزها اندازه‌گیری طیف گسترده‌ای از جریان‌هاست که با ترکیب دریچه برخی نواقص مانند مشکلات رسوب‌گذاری هم رفع می‌شود. با بررسی نتایج تجربی، نکات زیر را می‌توان بیان کرد.

- در یک  $h/p$  ثابت، با افزایش بازشدگی دریچه، میزان ضریب دبی در سرریز- دریچه مرکب ۱۱/۹، ۲۰/۱ و ۲۶/۳ درصد به‌ترتیب برای WGCCTR-1.5، WGCCTR-3 و WGCCTR-4.5 نسبت به حالت سرریز کاهش می‌یابد. در واقع با افزایش بازشدگی دریچه اثر دریچه بر هیدرولیک جریان افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه ضریب دبی دریچه از ضریب دبی سرریز کمتر است، در یک  $h$  ثابت با

- Ameri, M., Ahmadi, A. and Dehghani, A. A. 2015. Discharge coefficient of compound triangular–rectangular sharp-crested side weirs in subcritical flow conditions. *Flow Meas. Instrum.* 45, 170-175.
- Aydin, I., Altan-Sakarya, A. B. and Sisman, C. 2011. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs, *Flow Meas. Instrum.* 22(1): 144-151.
- Balachandar, R., Silvana. S. and Ramamurthy. A. S. 1991. A note on circular sharp-crested weirs. *Can. J. Civ. Eng.* 18, 881 -885.
- Boss, M. G. 1988. Discharge Measurement Structures. ILRI Pub. Wageningn, USA.
- Esmaeili, K. and Fathimoghadam, M. 2006. The discharge coefficient in the weir-valve model. The First Iranian National Congress of Irrigation and Drainage. Apr. 12. Ahvaz, Iran. (in Persian)
- Heidarpour, M., Razavian, S. H. and Hosseini, Y. 2014. Study of simultaneous flow over sharp-crested trapezoidal weir and below sluice gate. *J. Sci. Technol. Agric. Nat. Resour.* 18(68): 147-156. (in Persian)
- Jan, C. D., Chan, D. and Lee, M. H. 2006. Discussion of design and calibration of harp-crested weir. *J. Hydraul. Eng.* 132(8) 868-872.
- Khassaf, S. I. and Abbas, H. A. 2013. Study the free flow over compound weir and below semicircular gate. *Int. J. Sci. Eng. Res.* 4(10): 1486-1491.
- Kindsvater, C. E. and Carter, R. W. 1959. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. *T- Am. Soc. Civil Eng.* 124, 772-822.
- Martinez, J., Recca, J., Morillas, M. T. and Lopez, J. G. 2005. Design and calibration of a compound sharp-crested weir. *J. Hydraul. Eng.* 131(2): 112-116.
- Mousavi, S. N., Farsadizadeh, D., Arvanaghi, H. and Abbaspour, A. 2015. Investigation of effective parameters on discharge coefficient of compound arched circular-rectangular sharp-crested weirs. *J. Water Soil.* 29(4): 861-873. (in Persian)
- Negm, A. M., El-Saiad, A. A. and Saleh, O. K. 1997. Characteristics of combined flow over weirs and below submerged gates. *Proceeding of Al-Mansoura Engineering and 2<sup>nd</sup> International Conference (MEIC'97).* April 1-3. Faculty of Engineering, Al-Mansoura University, Al-Mansoura, Egypt.
- Negm, A. M., Al-Brahim, A. M. and Alhamid, A. A. 2002. Combined-free flow over weirs and below gates. *J. Hydraul. Res.*, 40(3): 359-365.
- Negm, A. M., El-Saiad, A. A., Alhamid, A. A. and Husain, D. 1994. Characteristics of simultaneous flow over weirs and below inverted V-Notches Gate. *Civil Eng. Res. Mag.* 16(9): 786-799.
- Ornaghi, H., Mahtabi, Gh., Valinia, M., Ghavidel, S. and Azimi, V. 2011. The study of discharge coefficient in compound overflow trapezoid-circular. The 10<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference. Oct. 7. Rasht, Iran. (in Persian)
- Razavian, S. H. and Heidarpour, M. 2007. Investigation of characteristics of the combined flow through sharp rectangular weir with compressed and below a sharp rectangular weir without compaction. *Proceeding of the 9<sup>th</sup> National Seminar on Irrigation and Evapotranspiration.* Jan. 4-5. Shahid Bahonar University, Kerman. Iran. (in Persian)
- Saffar, S. and Kashfipour, M. 2008. Estimation of flow in model overflow-valve using neural network model. The 2<sup>nd</sup> Iranian National Congress of Irrigation and Drainage. Aug. 23-25. Ahvaz, Iran. (in Persian)
- Stevens, J. C. 1957, Flow through circular wiers. *J. Hydraul. Eng.* 83(6): 1-24.
- Tai-Lee, J., Chuan-Chan, H., Kun-Huang, C. and Mou-Leu. J. 2012. Experiments on hydraulic relations for flow over a compound sharp-crested weir. *Int. J. Physic. Sci.* 7(14): 2229-2237.
- Vatankhah, A. R. 2010. Flow measurement using circular sharp crested weirs. *Flow Meas. Instrum.* 21(2): 118-122.
- Yasi, M. and Abbaspour, A. 2005. Flow over sharp-crested, truncated-triangular weirs. *J. Agric. Knowl.* 28(2): 165-182. (in Persian)

## **Study the Hydraulic Flow on the Compound Structure of Weir-Gate with Compound Weir of Circular-Trapezoidal Rectangular**

**M. Pesarakloo and A. R. Emadi\***

\* Corresponding Author: Associate Professor, Water Engineering Department, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: Emadia355@yahoo.com

Received: 1 May 2017, Accepted: 9 October 2017

Compound sharp crested weir for measuring the discharge with reasonable sensitivity and accuracy in a wide range of flow, as appropriate solution can be used. Also the transitional water containing sediment and floating will cause problems in how they function. One of the options that can be used to extend weir-gate combined compound sharp crested weir with gate. The purposed of this research, investigation of combined flow in sharp crested weir in the state of compound weir with circular- trapezoidal- rectangular sections by combining gate with opening height of 1.5, 3 and 4.5cm. Experiments carried out in an experimental rectangular canal with length of 12 meters and width of 5 meters. Based on experimental data the results show that, discharge coefficient in compound weir is in the range of 0.58 to 0.85 and in compound weir- gate is in the range of 0.38 to 0.78. The results showed that for a known head over the weir, the discharge coefficient in compound weir-gate is reduced with increasing the height of the gate. The mean values of the coefficient of determination ( $R^2$ ) and the normalized root mean square error (NRMSE) are 0.96 and 0.06, respectively. The results showed that the use of a linear combination of flow equations in compound weir with circular- trapezoidal- rectangular sections and compound weir-gate, with acceptable accuracy is able to estimate the discharge coefficient.

**Keywords:** Circular Weir, Compound Weir-Gate, Discharge Coefficient, Flow Measurement