

بررسی فشردگی جانبی جریان در سازه ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای

فاطمه نادری^{۱*}، محسن مسعودیان^۲ و کلاوس راتچر^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۴

^۱ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۲ استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

^۳ استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه علوم کاربردی اوستفالیایا، آلمان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: fateme_nadery@yahoo.com

چکیده

در اغلب موارد سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری جریان در کانال‌های باز به دلیل سازگاری با مقطع کانال و یا هزینه‌های بالا با طولی کمتر از عرض کانال ساخته می‌شوند. هیدرولیک جریان در چنین سازه‌ای متفاوت از سازه هم-عرض کانال می‌باشد. در تحقیق آزمایشگاهی حاضر تاثیر فشردگی نمودن جوانب سازه ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای بر ضریب دبی ترکیبی آن مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌ها روی فلومی به طول ۷/۵ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۶ سانتی‌متر، با استفاده از مدل‌های سرریز- دریچه استوانه‌ای با چهار قطر ۷۵، ۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ میلی‌متر، بازشدگی ثابت ۳ سانتی‌متر، درصد‌های فشردگی برابر سرریز و دریچه ($0/2 \leq b/B \leq 1$) و ترکیب‌های مختلف دبی و عمق جریان برای جریان آزاد انجام شد. نتایج نشان داد ضریب دبی ترکیبی به پارامترهای عمق آب بالادست به قطر استوانه (H/P)، هد روی سرریز به عمق آب بالادست (H_w/H) و نسبت طول تاج سازه به عرض کانال (b/B) وابستگی مستقیم دارد. از طرفی با کاهش (b/B) نرخ تغییرات ضریب دبی با تغییر پارامتر (H/P) کاهش می‌یابد. در نهایت بر اساس رگرسیون غیرخطی چندگانه رابطه ضریب دبی سازه فوق بر حسب پارامترهای هیدرولیکی و هندسی موثر بر آن ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: استوانه‌ای، سرریز- دریچه، ضریب دبی، فشردگی جانبی

Investigation of Flow Side Contraction in Combined Structure of Cylindrical Weir-Gate

F Nadery^{*1}, M Masoudian² and K Roettcher³

Received: 3 March 2013, Accepted: 4 January 2014

¹Former M.Sc. student, Dept. of Water Eng. Faculty of Agricultural Eng. Sari Univ. of Agricultural Sciences and Natural Resources. Sari, Iran

²Assist. Prof., Dept. of Water Eng. Faculty of Agricultural Eng. Sari Univ. of Agricultural Sciences and Natural Resources. Sari, Iran

³Prof., Faculty of Civil and Environmental Eng. Ostfalia Univ. of Applied Sciences. Germany

* Corresponding Author Email: fateme_nadery@yahoo.com

Abstract

In most cases flow control and measuring structures on open channels, are built in a length smaller than the channel width due to the high expenses or for corresponding to the channel cross section. Hydraulics of flow in such structures is different from full width structures. In the current experimental research the effect of contracting 2 sides of a cylindrical weir-gate on the combined discharge coefficient has been investigated. The experiments were done in a laboratory flume with 7.5 m length, 30 cm width and 46 cm height, using cylindrical weir-gate models with diameters of 75, 110, 125 and 160 mm, constant gate opening of 3 cm, similar contraction ratio for the gate and weir in the range of $(0.2 \leq b/B \leq 1)$, and different discharges and flow depths for the free flow. The results showed that the combined discharge coefficient was directly related to the ratio of upstream water depth to the weir-gate height (H/P), the ratio of water head over the weir to upstream water depth (H_w/H), and the ratio of structure length to the channel width (b/B). On the other hand, when the ratio of (b/B) decreased, the rate of C_d changes vs. (H/P) decreased, too. At the end, the multiple nonlinear regression analysis was used to correlate the discharge coefficient of such structures to both hydraulic and geometrical effective parameters.

Keywords: Cylindrical, Discharge coefficient, Side contraction, Weir-Gate

مقدمه

(ضریب دبی موثر) معرفی نمودند که مستقل از ویسکوزیته و کشش سطحی بوده و تاثیر فشرده نمودن جوانب سرریز را در بر دارد و به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Q = \frac{2}{3} C_e \sqrt{2gb_e} H_{we}^{3/2} \quad [1]$$

$$b_e = b + k_b \quad [2]$$

$$H_{we} = H_w + k_h \quad [3]$$

$$C_e = K_1 + K_2 (H_w / P) \quad [4]$$

آن‌ها مقدار ثابت $k_h = 0.001m$ را برای همه مقادیر (b/B) و (H_w / P) پیشنهاد نمودند. همچنین مقادیر تجربی K_b ، K_1 و K_2 را به صورت تابعی از (b/B) در قالب جدولی ارائه کردند و به این نتیجه رسیدند که چنین ضریب دبی از ۰/۵۷ تا ۰/۷۸ تغییر می‌کند. باقری و حیدرپور (۲۰۱۰) ضریب دبی سرریزهای مستطیلی لبه‌تیز با فشردگی جانبی ($0 < H_w / P < 1$) را بررسی و نتیجه گرفتند نسبت‌های (H_w / P) و (B/b) بر ضریب دبی تاثیر می‌گذارد. همچنین معادله زیر را بر اساس تئوری گردابی^۱ برای تخمین ضریب دبی ارائه دادند که در محدوده ($0 < H_w / P < 1$) دارای خطای $\pm 3\%$ می‌باشد.

$$C_d = 0.79 \ln(2.206 + 0.242(H_w / P)(B/b)^{0.0615}) \quad [5]$$

آیدین و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی رابطه نسبت هد روی سرریز به ارتفاع سرریز (H_w / P) و ضریب دبی در سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی با عرض و ارتفاع متغیر به این نتیجه رسیدند که نمودار فوق دارای دو روند متفاوت می‌باشد. به این صورت که در یک (H_w / P) ثابت، ضریب دبی سرریزهایی با $0.3125 \leq b/B \leq 1$ ، با کاهش نسبت (b/B) کاهش یافته، اما برای سرریزهایی با نسبت $0.0625 \leq b/B < 0.312$ (سرریزهای کاملاً فشرده) حالت عکس اتفاق می‌افتد.

بوس (۱۹۷۶) معادله دبی-اشل در سرریزهای تاج دایره‌ای را بر اساس معادله مربوط به سرریزهایی

سرریزها و دریچه‌ها از سازه‌های کنترل و تنظیم جریان در کانال‌های باز بوده که به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق کاربرد زیادی دارند. تجمع رسوبات و مواد شناور پشت سرریزها و ورودی دریچه‌ها از معضلات استفاده از آن‌ها می‌باشد که سبب تغییر شکل کانال، سرریز شدن آب از جوانب آن، به خطر افتادن پایداری سازه و کاهش دقت اندازه‌گیری جریان می‌شود. استفاده از ترکیب دو سازه فوق سبب می‌شود که مواد رسوبی از زیر دریچه و مواد شناور از روی سرریز عبور نموده و در نتیجه خطای اندازه‌گیری دبی کاهش می‌یابد. یکی از انواع سازه ترکیبی، نوع استوانه-ای بوده که به دلیل پایداری الگوی جریان، سهولت عبور اجسام شناور، ضریب دبی بالا به دلیل مطابقت با خطوط جریان و نیز ساده بودن طراحی آن در مقایسه با سایر انواع سازه ترکیبی مورد توجه می‌باشد. از طرفی در اکثر مواقع شکل مقطع کانال‌های آبیاری که معمولاً دوزنقه‌ای انتخاب می‌شود و یا هزینه‌های اقتصادی اجازه انتخاب سازه‌ای هم‌عرض کانال را نمی‌دهد. در این هنگام از سازه‌هایی با طول کمتر از عرض کانال جهت اندازه‌گیری دبی و کنترل سطح آب استفاده می‌شود. این کاهش عرض سبب فشردگی خطوط جریان در محل سازه، در راستای عرض، شده و لذا تغییرات خطوط جریان سه‌بعدی خواهد بود. در نتیجه طول موثر جریان از طول واقعی آن کمتر می‌شود که این مسئله روی هیدرولیک جریان و دبی عبوری از سازه فوق موثر خواهد بود.

پژوهش‌های صورت گرفته در ارتباط با موضوع در چهار بخش: سرریزهای لبه‌تیز با فشردگی جانبی، سرریزهای استوانه‌ای، دریچه‌های استوانه‌ای، و سازه ترکیبی سرریز-دریچه با شکل‌ها و شرایط مختلف فشردگی سازه، خلاصه شده است.

کینزواتر و کارتر (۱۹۵۷) مطالعاتی را جهت محاسبه ضریب دبی و طول موثر سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی فشرده‌شده ($0 < b/B < 1$)، با توجه به اینکه فشرده نمودن تاج سرریز سبب کاهش طول موثر جریان می‌شود، انجام داده و پارامتری با عنوان C_e

¹ Vortex Theory

دبی همزمان سازه پیشنهاد نمود که در محدوده
 $0.164 < b/B < 0.656$ ، $2.25 < (H + H_w)/a < 11.5$
 $1 < b/a < 5$ ، $0.5 < b_1/a < 2$ ، $0.25 < b_1/b < 4$
 $1 < P/a < 4$ و $1 \leq H_{TW}/a \leq 5$ صادق است.

$$Q_f = -0.7505 + 3.418((H_w + H)/a) + 0.992(b_1/a) - 0.693(H_{TW}/a) + 2.1949(b/B) - 1.7021(H_w/b) - 4.7035(H/a) + 0.5861(b_1/b) + 1.926(P/a) \quad [6]$$

H عمق آب در بالادست سازه، H_w هد آب روی سرریز، H_{TW} عمق پایاب، P ارتفاع سازه یا قطر سازه استوانه‌ای، a بازشدگی دریچه، b طول تاج سازه، b_1 طول تاج دریچه، B عرض کانال و C_d ضریب دبی سازه می‌باشد.

نجم و همکاران (۲۰۰۲) معادلاتی برای ضریب دبی ترکیبی سرریز- دریچه مستطیلی با فشردگی برابر ارائه نموده و نتیجه گرفتند ضریب دبی جریان با پارمترهای H/a و H_w/b رابطه مستقیم دارد. همچنین تاثیر ویسکوزیته بر دبی ترکیبی برای $(Re \geq 200000)$ و تاثیر کشش سطحی بر دبی ترکیبی برای $(We \geq 40)$ قابل صرف نظر می‌باشد. رضویان و حیدرپور (۱۳۸۶) جریان ترکیبی از روی سرریز لبه‌تیز مستطیلی فشرده شده و زیر دریچه لبه‌تیز مستطیلی بدون فشردگی را بررسی نموده و رابطه زیر را بر اساس رگرسیون خطی چندگانه، جهت محاسبه ضریب دبی سازه ترکیبی به دست آوردند که در محدوده $1.66 \leq H/P \leq 2.83$ ، $3.1 \leq H/a \leq 6.35$ و $1.5 \leq P/a \leq 2.67$ ، $0.13 \leq H_w/b \leq 0.74$ و $0.25 \leq b/B \leq 0.56$ ، ضریب تعیین آن $R^2 = 0.917$ می‌باشد.

$$C_d = 0.0325(H/P) + 0.0083(H/a) + 0.0115(P/a) + 0.0033(H_w/b) - 0.0171(b/B) + 0.45659 \quad [7]$$

قره‌گزلو (۱۳۹۱) خصوصیات جریان همزمان از سرریز- دریچه استوانه‌ای را بررسی نموده و نشان داد

با آستانه پهن بدست آورد. او اختلاف اساسی بین سرریزهای تاج دایره‌ای و سرریزهای لبه‌پهن را ناشی از انحنا خطوط جریان روی آستانه سرریزهای تاج- دایره‌ای می‌دانست. چانسون و مونتس (۱۹۹۸) با بررسی خصوصیات جریان در سرریزهای استوانه‌ای با و بدون پایه نتیجه گرفتند که شعاع سیلندر، ارتفاع پایه و شیب بالادست سرریز تاثیری در ضریب دبی ندارد، در حالی که قره‌گزلو و مسعودیان (۱۳۹۰) با آزمایش‌های خود روی سرریزهای استوانه‌ای نشان دادند افزایش قطر چنین سرریزهایی سبب می‌شود که جریان با انحنا بیشتر و افت کمتری از روی سرریز عبور نموده و لذا ضریب دبی آن‌ها افزایش یابد. از طرفی با افزایش نسبت هد روی سرریز به شعاع سرریز (H_w/R) ، ضریب دبی افزایش یافته و ضریب دبی در این نوع سرریزها در بیشتر موارد بزرگتر از یک است. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۱) با بررسی ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای نتیجه گرفتند ضریب دبی سرریز استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای بیشتر از مشابه لبه‌تیز و لبه‌پهن آن‌ها می‌باشد، چرا که انحنا خطوط جریان در چنین سرریزهایی بیشتر بوده و این موضوع سبب مکش بیشتر روی بدنه سرریز و بیشتر شدن ضریب دبی می‌گردد.

شاهرخ‌نیا و جوان (۱۳۸۷) براساس تحقیقات آزمایشگاهی و میدانی روابطی جهت محاسبه ضریب دبی دریچه‌های قوسی بر اساس پارامترهای عمق آب در بالادست دریچه، ارتفاع بازشدگی دریچه و فاصله محور دریچه از کف کانال ارائه نمودند. مسعودیان و همکاران (۲۰۱۲) با بررسی ضریب دبی دریچه‌های استوانه‌ای نتیجه گرفتند با افزایش هر یک از دو پارامتر (H/P) و (H/a) ضریب دبی افزایش یافته و نرخ تغییرات آن به تدریج کاهش می‌یابد و به سمت ثابت شدن پیش می‌رود. به علاوه ضریب دبی دریچه استوانه‌ای در مقادیر دبی‌های بالا تقریباً یک بوده و بیشتر از ضریب دبی دریچه کشویی است.

نجم (۱۹۹۸) جریان همزمان از روی سرریز آزاد و زیر دریچه مستغرق لبه‌تیز با فشردگی‌های نامساوی را مورد بررسی قرار داد و رابطه نیمه تجربی ۶ را برای

مختلف مورد استفاده قرار گرفت، به طوری که نسبت طول تاج سرریز و دریچه در سازه ترکیبی به عرض کانال (b/B) یکسان و در محدوده ۰/۲ تا ۱ تغییر نماید (شکل ۱). آزمایش‌ها در محدوده دبی ۴/۱ تا ۲۶/۱ لیتر بر ثانیه، برای جریان آزاد انجام شد. برای اندازه‌گیری جریان ورودی به فلوم از دبی‌سنج مغناطیسی با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه، و برای اندازه‌گیری عمق آب در فلوم از یک عمق سنج قائم با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. در تمامی آزمایش‌ها جریان به صورت زیر بحرانی بوده است. شکل ۱ پروفیل طولی، مقطع عرضی، پلان فلوم و سرریز-دریچه استوانه‌ای فشرده شده را نشان می‌دهد.

تئوری جریان در سرریز-دریچه استوانه‌ای با فشرده‌گی جانبی

رابطه عمومی برآورد دبی دریچه به صورت رابطه ۸ می‌باشد (حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۱)

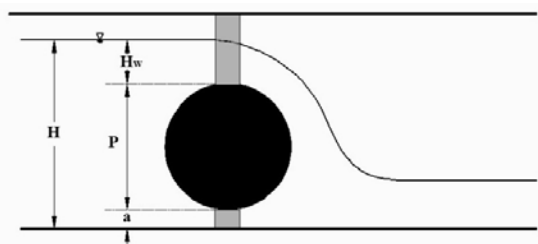
$$Q_g = C_{d_g} a B \sqrt{2gH} \quad [8]$$

بوس (۱۹۷۶) در مطالعه‌ای روی سرریزهای لوله‌ای، فرمول دبی در این سرریزها را مطابق رابطه زیر ارائه نمود.

$$Q_w = C_{d_w} B \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3} g H_w}^{1.5} \quad [9]$$

بنابراین ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز-دریچه از رابطه ۱۰ به دست می‌آید.

$$C_d = \frac{Q_T}{aB\sqrt{2gH} + \frac{2}{3} B \sqrt{\frac{2}{3} g H_w}^{1.5}} \quad [10]$$



شکل ۱- الف)

که با افزایش هر دو پارامتر (H/P) و (H/a) ضریب دبی افزایش می‌یابد. در شرایط مشابه، ضریب دبی ترکیبی حدود ۵۰ درصد بیشتر از ضریب دبی سرریز-دریچه لبه تیز است و در مدل ترکیبی، جریان عبوری از سرریز بر جریان عبوری از دریچه اثر گذاشته و سبب کاهش ۱-۲۵ درصدی ضریب دبی جداگانه دریچه، نسبت به دریچه بدون سرریز می‌گردد.

در ادامه پژوهش‌های پیشین، از جمله مسائلی که در بررسی سازه ترکیبی استوانه‌ای می‌تواند مورد توجه قرار گیرد، خصوصیات جریان ترکیبی عبوری از سرریز-دریچه استوانه‌ای با فشرده‌گی جانبی می‌باشد. لذا هدف از تحقیق حاضر، بررسی تأثیر فشرده نمودن طول تاج سرریز-دریچه استوانه‌ای بر ضریب دبی ترکیبی، با استفاده از مطالعات آزمایشگاهی و تحلیل‌های آماری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر، ابتدا با توجه به پارامترهای هیدرولیکی و هندسی موثر بر مسئله، آنالیز ابعادی جریان عبوری سازه ترکیبی استوانه‌ای فشرده شده، جهت شناخت پارامترهای بدون بعد حاکم صورت گرفته، سپس بر اساس پارامترهای به دست آمده پارامترهایی که در آزمایش‌ها باید اندازه‌گیری شوند، تعیین شده‌اند. پس از انجام اندازه‌گیری‌ها، پارامترهای بدون بعد حاصل از آنالیز ابعادی تعیین، و تأثیر تغییرات آن‌ها بر ضریب دبی سازه ترکیبی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

کلیه آزمایش‌ها توسط مولفین، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه اوستفاليا در کشور آلمان^۲ روی فلومی افقی به طول ۷/۵ متر، عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۶ سانتی‌متر و مدل‌هایی از سازه استوانه‌ای از جنس پی.وی.سی^۳ با قطر ۴، ۷۵، ۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ میلی-متر و بازشدگی ثابت دریچه برابر با ۳ سانتی‌متر انجام شد. برای فشرده نمودن تاج سرریز و دریچه صفحات پی.وی.سی به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر با طول‌های

^۲ Ostfalia University of Applied Sciences, Germany

^۳ P.V.C Pipes

(m)، ρ جرم مخصوص سیال (kg/m^3)، σ کشش سطحی (N/m) و C_d ضریب دبی ترکیبی سازه می-باشد. بر اساس آنالیز ابعادی و تئوری π باکینگهام، و با در نظر گرفتن سه پارامتر ρ ، V و H به عنوان متغیرهای تکراری، گروه‌های بدون بعد موثر در مسئله به صورت رابطه ۱۲ به دست می‌آیند:

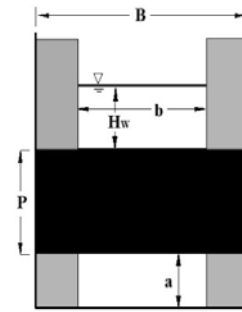
$$C_d = f_1(W_e, R_e, F_r, \frac{H_w}{H}, \frac{H}{P}, \frac{H}{b}, \frac{H}{B}, \frac{H}{a}, S_0) \quad [12]$$

با ضرب پارامتر (H/B) در عکس (H/b) ، پارامتر (b/B) حاصل شده که ضریب دبی وابسته به آن است. با توجه به افقی بودن کانال در آزمایش‌های حاضر، شیب S_0 ثابت بوده و تاثیر آن بر ضریب دبی مورد توجه نمی‌باشد. از طرفی با توجه به بازشدگی ثابت دریچه، پارامترهای (H/P) در یک قطر مشخص، و پارامترهای (H/B) و (H/a) تاثیرات مشابهی بر ضریب دبی خواهند داشت. همچنین از آن‌جا که در اکثر مواقع تیغه آب روی سرریز ضخامت کافی داشته و جریان روی سرریز آشفته است، از بررسی تاثیر لزجت و کشش سطحی بر ضریب دبی صرف‌نظر شده است (ایزدی‌نیا و همکاران ۱۳۸۷). بنابراین در بخش بعد، تاثیر پارامترهای (H/P) ، (H_w/H) و (b/B) روی ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای با فشردگی برابر سرریز و دریچه بررسی می‌شود.

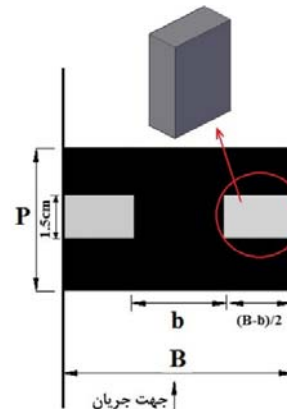
نتایج و بحث

در مجموع ۱۶۰ آزمایش با ۴ قطر ۷۵، ۱۱۰، ۱۲۵ و ۱۶۰ میلی‌متر و نسبت‌های فشردگی (b/B) برابر ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ انجام شد که محدوده پارامترهای بدون بعد حاصل از آن‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

شکل‌های ۲ تا ۵ نمودار تغییرات ضریب دبی ترکیبی را نسبت به پارامتر بدون بعد عمق آب در بالادست سازه به قطر استوانه (H/P) برای هر ۴ قطر و با همه نسبت‌های (b/B) در محدوده آزمایش نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش (H/P) ، ضریب دبی برای هر سازه ترکیبی افزایش می‌یابد. از طرفی



شکل ۱- (ب)



شکل ۱- (ج)

شکل ۱- (الف) پروفیل طولی، (ب) مقطع عرضی و (ج) پلان فلوم و سازه ترکیبی استوانه‌ای فشرده شده.

در روابط ۸ تا ۱۰: Q_g دبی عبوری از زیر دریچه (m^3/s)، C_{dg} ضریب آبگذری دریچه، a میزان بازشدگی دریچه (m)، B عرض کانال (m)، H عمق جریان در بالادست سازه (m)، g شتاب ثقل (m/s^2)، Q_w دبی عبوری از سرریز استوانه‌ای (m^3/s)، C_{dw} ضریب دبی سرریز، H_w ارتفاع آب روی سرریز (m) و Q_T دبی عبوری از سازه ترکیبی (m^3/s) می‌باشد. بر اساس خصوصیات هندسی، سینماتیکی و دینامیکی جریان، عوامل مؤثر در دبی عبوری از سرریز- دریچه استوانه‌ای با فشردگی جانبی را طبق رابطه ۱۱ می‌توان نوشت:

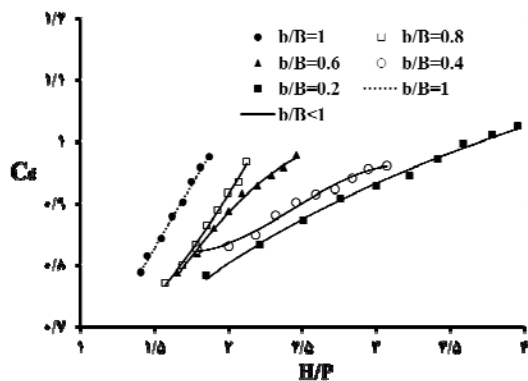
$$f(H, H_w, a, B, b, \mu, g, S_0, V, P, \rho, \sigma, C_d) = 0 \quad [11]$$

در این رابطه: b طول تاج سرریز و دریچه (m)، μ لزجت دینامیکی سیال (Pa.s)، S_0 شیب کانال، V سرعت نزدیکی (m/s)، P ارتفاع (قطر) سازه استوانه‌ای

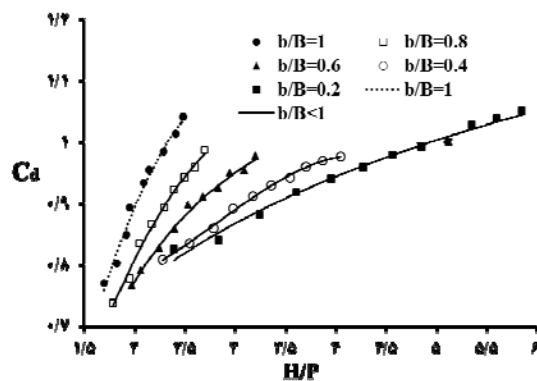
دبی مربوط به سازه هم‌عرض کانال است. فشرده نمودن تاج سرریز و دریچه در سازه ترکیبی سبب می‌شود که خطوط جریان در محل سازه نیز فشرده شده و در نتیجه جریان از حالت دو بعدی به حالت سه بعدی تبدیل گردد. این مسئله سبب کاهش طول موثر سرریز و دریچه می‌شود و لذا ضریب دبی ترکیبی سازه کاهش می‌یابد. با افزایش (b/B) ، انقباض خطوط جریان توسط کناره‌ها کمتر شده و در (b/B) برابر یک، جریان به حالت دو بعدی تبدیل می‌شود که این سبب افزایش ضریب دبی می‌شود.

می‌توان گفت که با افزایش (H/P) برای هر سازه، شیب نمودار کاهش یافته و نرخ تغییرات ضریب دبی با تغییر پارامتر فوق کاهش می‌یابد. این مسئله در نسبت‌های (b/B) کوچک‌تر بیشتر مشهود است. در سازه ترکیبی به دلیل امکان عبور جریان همزمان از سرریز و دریچه، و در نتیجه بزرگ بودن سطح مقطع عبور جریان، سطح آب در کانال پایین بوده، لذا در نسبت‌های (b/B) بزرگ‌تر، که خود سبب افزایش سطح مقطع جریان می‌شود، به محدوده داده‌های وسیع‌تری جهت مشاهده این پدیده نیاز است.

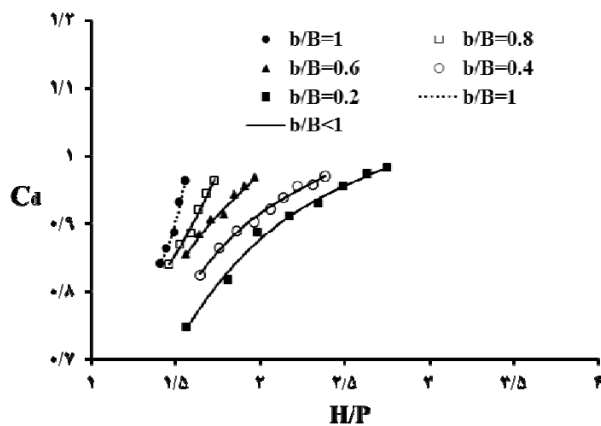
برای هر قطر، در یک (H/P) ثابت، با افزایش (b/B) ، ضریب دبی افزایش می‌یابد و بیشترین ضریب



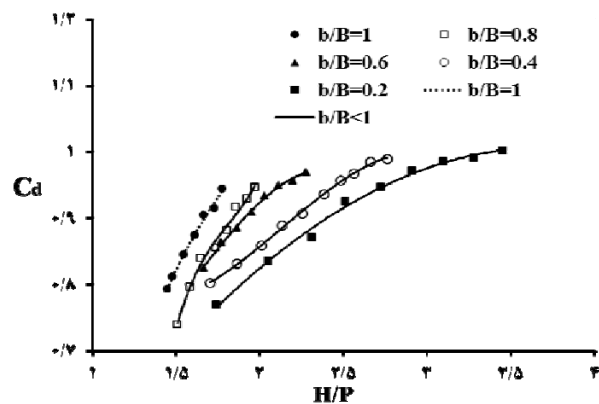
شکل ۳- تغییرات C_d به ازای H/P (قطر ۱۱۰ میلی‌متر).



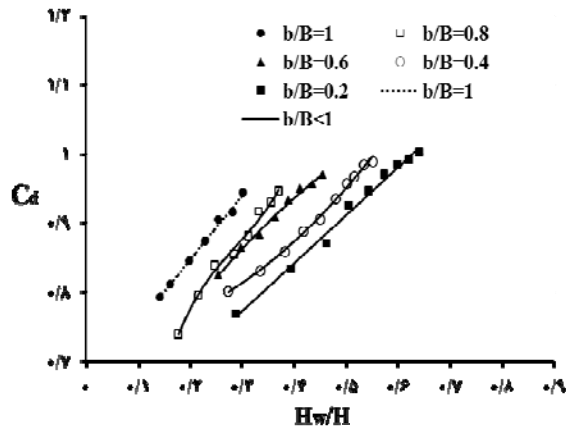
شکل ۲- تغییرات C_d به ازای H/P (قطر ۷۵ میلی‌متر).



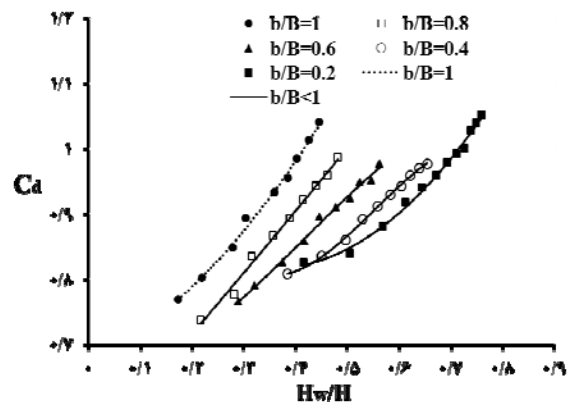
شکل ۵- تغییرات C_d به ازای H/P (قطر ۱۶۰ میلی‌متر).



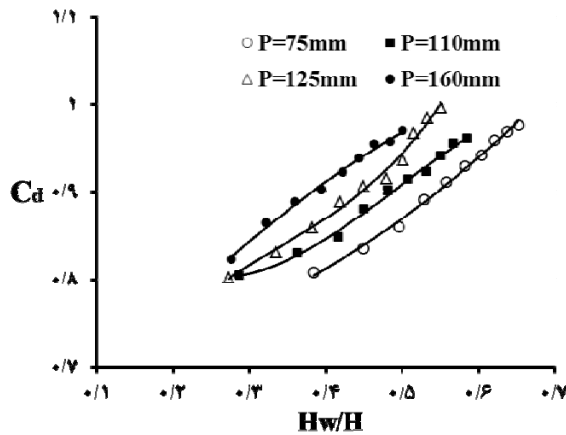
شکل ۴- تغییرات C_d به ازای H/P (قطر ۱۲۵ میلی‌متر).



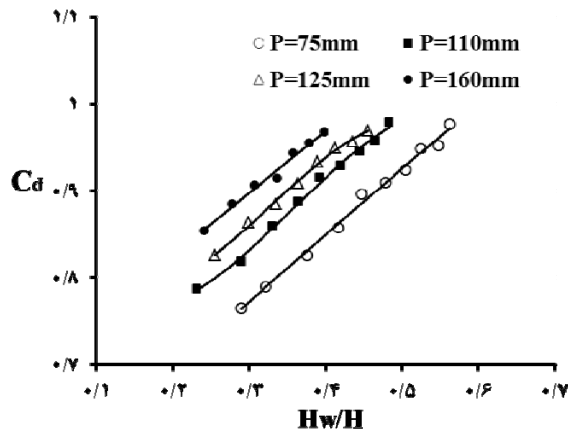
شکل ۷- تغییرات C_d به ازای H_w/H (قطر ۱۲۵ میلی‌متر).



شکل ۶- تغییرات C_d به ازای H_w/H (قطر ۷۵ میلی‌متر).



شکل ۹- تغییرات C_d به ازای H_w/H ($b/B=0.4$).



شکل ۸- تغییرات C_d به ازای H_w/H ($b/B=0.6$).

جدول ۱- محدوده پارامترهای بدون بعد سرریز- دریچه استوانه‌ای با فشردگی جانبی.

C_d	We	Re	H_w/H	H/a	H/P
۰/۷۲-۱/۰۵	۱۵۰-۶۰۰۰	۴۱۹۹-۴۸۶۸۱۰	۰/۱-۰/۸	۱/۴۵-۸/۳	۱/۴-۵/۹

جریان در کناره‌ها (به علت افزایش فشردگی جانبی سازه) به صورت عاملی بازدارنده در مقابل افزایش ضریب دبی با افزایش عمق آب بالادست عمل کرده و در نتیجه نرخ افزایش ضریب دبی با افزایش عمق آب بالادست کاهش می‌یابد.

همچنین در شکل‌های ۲ تا ۵ مشاهده می‌شود با کاهش نسبت (b/B) ، شیب نمودار ضریب دبی در مقابل (H/P) کاهش می‌یابد که بیانگر آن است که با افزایش فشردگی جانبی سازه، نرخ افزایش ضریب دبی با افزایش عمق آب در بالادست، کاهش می‌باشد. این مسئله به این علت است که افزایش انقباض خطوط

خطوط جریان با انحنا بیشتر و جریان با سرعت بالاتر از رو و زیر سازه عبور نموده و سبب افزایش ضریب دبی می‌گردد که این مسئله مطالعات چانسون و مونتس (۱۹۹۸) و قره‌گزلو (۱۳۹۱) را نیز تایید می‌نماید.

b : طول تاج سرریز (و یا طول تاج دریچه در شرایط برابری طول سرریز و دریچه) و b_1 : طول تاج دریچه می‌باشد.

در بیشتر موارد در واقعیت به کار بردن سازه‌های منقبض شده در عرض کانال اجتناب ناپذیر بوده و مسئله‌ای که اهمیت پیدا می‌کند فشرده نمودن آن به گونه‌ای است که تا حد ممکن کارایی آن کاهش کمتری پیدا کند و به عبارتی دبی مورد نیاز را تامین نماید.

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS^۴

در نهایت تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS، جهت یافتن رابطه‌ای مناسب بین ضریب دبی سرریز- دریچه استوانه‌ای فشرده شده و کلیه پارامترهای حاصل از آنالیز ابعادی، (H/P) ، (H/a) ، (H_w/H) ، (b/B) ، Re و We ، صورت گرفت. این روابط از بهینه‌سازی روابط بین متغیرهای مستقل و متغیر وابسته و براساس رگرسیون غیرخطی چندگانه به شکل معادله ۱۳ به دست آمده است. توان دو پارامتر Re و We در معادله صفر به دست آمده است که نشان می‌دهد در محدوده آزمایش، تاثیر کشش سطحی و لزجت قابل صرف‌نظر می‌باشد. معادله ۱۳ در محدوده آزمایش دارای ضریب تعیین $R^2 = 0.951$ و خطای تخمین استاندارد $SEE = 0.016$ می‌باشد که نشان‌دهنده دقت بالای معادله فوق در تخمین ضریب دبی ترکیبی است. معادله ۱۳ در محدوده جدول ۱ صدق می‌کند.

$$C_d = 0.626 \left(\frac{H}{a}\right)^{0.27} \left(\frac{H}{p}\right)^{0.025} \left(\frac{H_w}{H}\right)^{0.126} \left(\frac{b}{B}\right)^{0.146} \quad [13]$$

شکل‌های ۶ و ۷ رابطه پارامتر بدون بعد هد آب روی سرریز به عمق آب بالادست (H_w/H) را با ضریب دبی ترکیبی، برای دو قطر ۷۵ و ۱۲۵ میلی‌متر نشان می‌دهد.

مشاهده می‌شود که در این حالت نیز با افزایش پارامتر بی‌بعد (H_w/H) ضریب دبی برای همه سازه‌های ترکیبی و با درصدهای فشرده‌گی مختلف افزایش می‌یابد. همچنین برای هر قطر، در یک (H_w/H) ثابت، با افزایش نسبت (b/B) ضریب دبی افزایش یافته و بیشترین ضریب دبی را سازه هم‌عرض دارا می‌باشد.

شکل‌های ۸ و ۹ نشان می‌دهند که در یک (H_w/H) ثابت، با افزایش قطر سازه و بدون در نظر گرفتن درصد فشرده‌گی تاج، ضریب دبی افزایش می‌یابد. چرا که با افزایش قطر، شعاع انحنا خطوط جریان افزایش یافته، و جریان با انحنا بیشتر و در نتیجه افت کمتر از روی سرریز عبور می‌نماید، که این مسئله در افزایش ضریب دبی موثر بوده و با مطالعات قره‌گزلو (۱۳۹۱) هم‌خوانی دارد.

از آن‌جا که در بیشتر مواقع، به کار بردن سازه‌های فشرده شده در عرض کانال امری اجتناب ناپذیر می‌باشد، و با توجه به این‌که قطر سازه (P) و درصد فشرده‌گی طول تاج آن (طول دیواره‌های تنگ‌کننده و یا به عبارتی $(B-b)/B$)، تاثیرات معکوسی بر ضریب دبی دارند، در شرایط واقعی می‌توان با توجه به مکان و محدودیت‌های موجود، با انتخاب یک ترکیب بهینه از این دو پارامتر، وضعیتی ایجاد شود که هم اقتصادی بوده و هم ضریب دبی مورد نظر را تامین نماید.

مقایسه نتایج با نتایج سایر محققین

جدول ۲ مقایسه محدوده ضرایب دبی سازه ترکیبی استوانه‌ای فشرده شده را با انواع دیگر سازه ترکیبی نشان می‌دهد. نتایج نشان‌دهنده بیشتر بودن ضریب دبی سازه استوانه‌ای فشرده شده نسبت به سایر انواع سازه فشرده شده می‌باشد. انحنا سطح سازه استوانه‌ای سبب هدایت منظم خطوط جریان و افزایش فشار مکش در سطح آن‌ها شده، در نتیجه

⁴ Statistical Package for Social Sciences

جدول ۲- مقایسه محدوده ضریب دبی بدست آمده در تحقیق حاضر با نتایج سایر حالت‌ها.

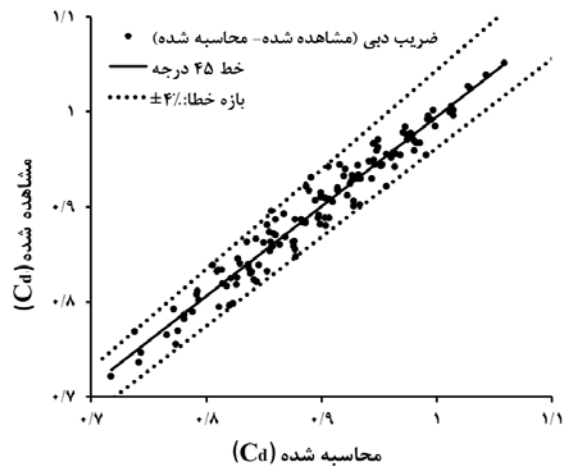
محقق، سال	موضوع	محدوده آزمایش	نتیجه
نجم، ۱۹۹۸	بررسی جریان همزمان از روی سرریز و زیر دریچه مستغرق (لبه‌تیز با فشردگی نابرابر)	$1 < P/a < 4$ $0.5 < b_1/a < 2$ $1 < b/a < 5$	محدوده ضریب دبی: $0.55 < C_d < 0.75$
نجم و همکاران، ۲۰۰۲	بررسی جریان ترکیبی سرریز- دریچه لبه‌تیز مستطیلی با فشردگی برابر سرریز و دریچه	$2.5 < H/a < 7.6$ $0.647 < b/a < 5$ $0.473 < P/a < 4$	محدوده ضریب دبی: $0.51 < C_d < 0.68$
رضویان و حیدرپور، ۲۰۰۷	بررسی جریان ترکیبی از روی سرریز لبه‌تیز مستطیلی فشرده شده و زیر دریچه لبه‌تیزمستطیلی هم‌عرض	$3 < H/a < 7$ $2 < b/a < 4.5$ $1.5 < P/a < 2.67$	محدوده ضریب دبی: $0.55 < C_d < 0.61$
تحقیق حاضر	بررسی ضریب دبی جریان سرریز- دریچه استوانه‌ای با فشردگی جانبی برابر سرریز و دریچه	$1.45 < H/a < 8.3$ $2 < b/a < 10$ $2.5 < P/a < 5.33$	محدوده ضریب دبی: $0.72 < C_d < 1.05$

شکل ۱۰- مقایسه ضریب دبی مشاهده شده با ضریب دبی محاسبه شده از رابطه ۱۳.

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر تاثیر فشردگی طول تاج سازه ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای بر دبی ترکیبی عبوری از آن بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش نسبت عمق آب بالادست به ارتفاع سرریز (H/P) و هد روی سرریز به عمق آب بالادست (H_w/H) ، ضریب دبی تمامی سازه‌ها افزایش می‌یابد، در حالی که با کاهش نسبت (b/B) نرخ تغییرات ضریب دبی نسبت به تغییر پارامتر (H/P) کاهش می‌یابد. همچنین برای هر سرریز، در یک (H/P) ثابت، با افزایش نسبت (b/B) ضریب دبی افزایش یافته و بیشترین ضریب دبی را سازه هم‌عرض کانال دارد. در نهایت آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS و بر اساس رگرسیون غیرخطی چندگانه، جهت یافتن رابطه ضریب دبی ترکیبی بر اساس پارامترهای موثر بر آن، صورت گرفته که در محدوده آزمایش دارای خطای استاندارد ۰/۰۱۶ و ضریب تعیین $R^2 = 0/951$ است.

بر اساس معادله ۱۳ ضریب دبی سازه استوانه‌ای با پارامترهای (H/a) ، (H/P) ، (H_w/H) و (b/B) رابطه مستقیم دارد. همچنین ضریب دبی ترکیبی نسبت به تغییرات پارامتر (H/a) حساسیت بیشتر و نسبت به پارامتر (H/P) حساسیت کمتری دارد. شکل ۱۰ نمودار تغییرات ضریب دبی محاسبه شده از معادله ۱۳ را در مقابل ضریب دبی مشاهده شده نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۶٪ دارای دقت قابل قبولی می‌باشد.



منابع مورد استفاده

- ایزدی‌نیا، حیدرپور م و کبیری سامانی ار، ۱۳۸۷. بررسی تاثیر شیب پایین‌دست سرریزهای جانبی تاج‌دایره‌ای بر ضریب شدت جریان. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، ۲۱ تا ۲۳ آبان. تهران.
- حسینی س م و ابریشمی ج، ۱۳۸۱. هیدرولیک کانال‌های باز. دانشگاه امام رضا (ع)، موسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی. مشهد.
- رضویان س ح و حیدرپور م، ۱۳۸۶. بررسی ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز-دریچه لبه‌تیز. صفحه‌های ۳۹۰ تا ۴۰۱. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهرکرد، ۱۳-۱۵ شهریور، شهرکرد.
- شاهرخ‌نیا م و جوان م، ۱۳۸۷. برآورد ضریب دبی توانی در دریچه‌های قوسی. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۸ تا ۱۰ بهمن، اهواز.
- قره‌گزلو م، ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی جریان همزمان از مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- قره‌گزلو م و مسعودیان م، ۱۳۹۰. اثر قطر و هد آب روی سرریز استوانه‌ای روی ضریب دبی. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳ و ۱۴ اردیبهشت، تهران.
- مسعودیان م، قره‌گزلو م، نادری ف و سوری ا، ۱۳۹۱. بررسی و مقایسه ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای و نیم-استوانه‌ای با مشابه لبه‌تیز و لبه‌پهن آن. نهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲۱-۱۹ اردیبهشت، اصفهان.
- Aydin I, Sakaryaa AB and Sisman C, 2011. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs, Journal of Flow Measurement and Instrumentation 22(2): 144-151.
- Bagheri S and Heidarpour M, 2010. Application of free vortex theory to estimating discharge coefficient for sharp-crested weirs, Journal of Biosystems Engineering 105(3): 423-427.
- Bos MG, 1976. Discharge Measurement Structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement / LIRI Wageningen. The Netherlands.
- Chanson H and Montes JS, 1998. Over Flow characteristics of circular weirs: Effects of inflow condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering 32:152-161.
- Kindsvater CE and Carter RW, 1957. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs, Journal of Hydraulics Division 83(6): 1-36.
- Masoudian M, Gharahgezlou M and Haber B, 2012. The impact of hydraulic and geometric parameters on the cylindrical gate discharge coefficient. Journal of Innova Cience 4(7): 61- 72.
- Negm AM, 1998. Characteristics of combined flow over weirs and below submerged gates with unequal contractions, File:///D:/user/Lehfeldt/ICHE/1998-Cottbus/document/Exp.CChannels.9.Paper.html.
- Negm AM, Al-Brahim AM and Alhamid AA, 2002. Combined free flow over weirs and below gates. Journal of Hydraulic Research. 40(3): 359-365.