

بررسی آزمایشگاهی تغییرات ضریب دبی و افت انرژی در سرریز- دریچه استوانه‌ای با حرکت قائم

ارمغان سوری^۱، محسن مسعودیان^{۲*}، اسماعیل کردی^۳ و کلاوس راتچر^۴

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

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

^۳ عضو پیوسته ASCE و استادیار گروه مهندسی عمران، مؤسسه آموزش عالی میرداماد گرگان

^۴ استاد گروه عمران و محیط زیست، دانشگاه اوستفالیا آلمان

چکیده

کاربرد سازه استوانه‌ای نسبت به سازه‌های با اشكال دیگر دارای مزایایی چون هزینه کم، طراحی آسان، سهولت ساخت و ضریب دبی بالاتر می‌باشد. تحقیق حاضر بر هیدرولیک جریان عبوری از سازه استوانه‌ای متحرک در راستای عمود بر جهت جریان که با جابه‌جایی آن سه سازه سرریز، سرریز- دریچه و دریچه استوانه‌ای نمود می‌باشد، متمرکز شده است. آزمایش‌ها در یک کanal آزمایشگاهی مستطیلی به طول ۷/۵ متر، عرض ۰/۴ متر بر بستری صاف و صلب با شیب طولی ۱/۰۰۰ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه اوستفالیا- آلمان، انجام شده‌اند. نتایج حاکی از آن هستند که تغییرات ارتفاع بازشدنی دریچه با تغییرات ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از سازه رابطه عکس داشته، به گونه‌ای که با جابه‌جایی سازه استوانه‌ای، بیشترین ضریب دبی و افت انرژی در سرریز استوانه‌ای و کمترین ضریب دبی و افت انرژی در دریچه استوانه‌ای مشاهده شده است. به علاوه تغییرات قطر سازه با تغییرات ضریب دبی رابطه عکس و با تغییرات افت انرژی رابطه مستقیم داشته است. همچنین برآشن‌های تجربی جهت به کمیت درآوردن رفتار ضریب دبی ارائه شده است.

واژگان کلیدی: افت انرژی، سازه استوانه‌ای متحرک، سرریز- دریچه استوانه‌ای، ضریب دبی.

باعث ایجاد فشار مکش در سطح سرریز شده و تیغه‌ای ریزشی

ایجاد می‌کند که باعث چسبیدگی سطح آب به بدن سرریز می‌شود. مکش در دیواره و چسبیدگی تیغه‌ی ایجاد شده باعث می‌شود تا خطوط جریان با انحنای بیشتر و جریان با سرعت بالاتری شکل گرفته و در نتیجه ضریب دبی نسبت به سرریزهای لبه‌تیز و لبه‌پهن مستطیلی افزایش یابد. Negm [۲] و همکاران [۲] به مطالعه جریان ترکیبی در حالت آزاد از مدل سرریز- دریچه مستطیلی با فشردگی برابر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پارامتر هیدرولیکی نسبت عمق آب بالا دست به بازشدنی دریچه y_{up}/a و پارامتر هندسی نسبت ارتفاع سازه به بازشدنی دریچه P/a دارای بیشترین اثر بر دبی عبوری می‌باشند. آن‌ها همچنین نشان دادند که ضریب دبی جریان با پارامتر بدون بعد a_{up}/a رابطه مستقیم داشته و با پارامترهای بدون بعد نسبت ارتفاع آب روی سرریز به عرض سرریز و دریچه H_w/b و P/a رابطه عکس دارد. اسماعیلی و فتحی‌مقدم [۳] ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز- دریچه لبه تیز مستطیلی را بررسی نمودند و نشان دادند سیستم سرریز- دریچه موجب اصلاح

بررسی نحوه رفتار جریان در سرریزها و دریچه‌های استوانه‌ای نشان داده است که انحنای خطوط جریان در اثر تحدب دیواره سازه (شکل استوانه‌ای سازه) قابل صرف نظر کردن نمی‌باشد و شکل سازه نقش مهمی در میزان جریان عبوری دارد. لذا کاربرد سازه استوانه‌ای نسبت به سازه‌های با اشكال دیگر (مثلثی، مستطیلی و ...) دارای مزایایی چون هزینه کم، طراحی آسان، سهولت ساخت و ضریب دبی بالاتر می‌باشد. سازه ترکیبی سرریز- دریچه به دلیل قابلیت عبور همزمان مواد قابل تنشین شدن از قسمت دریچه و مواد معلق از روی سرریز، در مقایسه با سازه‌های رایج اندازه‌گیری دبی (سرریز، دریچه و فلوم پارشال) شرایط واقعی را به فرضیات اصلی تئوری استخراج روابط نزدیک- تر و برآورد دبی را با دقت بیشتر میسر می‌نماید. لذا تلفیق دو سازه سرریز و دریچه برخی از نواقص کاربرد جداگانه سرریز و دریچه را برطرف نموده است.

Montes [۱] با بررسی نحوه رفتار جریان در سرریزهای استوانه‌ای نتیجه گرفتند که تحدب دیواره سرریز

هیدرولیک جریان از سرریز استوانه‌ای به سرریز- دریچه استوانه‌ای و در نهایت به دریچه استوانه‌ای تبدیل می‌گردد، پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در فلومی با مقطع عرضی مستطیلی شیب‌پذیر با طول ۷/۵ متر، عرض کف ۰/۴ متر، عمق ۰/۴۶ متر بر بستر صاف و صلب و شیب کف ۰/۰۰۰۱ واقع در آزمایشگاه هیدرولیک گروه عمران و محیط زیست دانشگاه اوستفالیا^۱ انجام گرفت. از لوله‌های PVC جهت ساخت مدل‌های فیزیکی سازه‌های استوانه‌ای استفاده شد. آزمایش‌ها برای چهار قطر ۵۰، ۷۵، ۱۱۰ و ۱۲۵ میلی‌متر و ارتفاع بازشدگی دریچه تغییر از حالت سرریز استوانه‌ای ($a = 0\text{ mm}$) و با افزایش تدریجی ارتفاع بازشدگی دریچه با گام‌های ۱۰ میلی‌متر و گذز از حالت سازه ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای تا رسیدن به شرایط آستانه دریچه و دریچه استوانه‌ای ($H_w = 0\text{ mm}$), با توجه به قطر و دبی موجود انجام شده است. لازم به ذکر است که آستانه دریچه حالت خاصی از موقعیت قرارگیری سازه در راستای عمود بر جهت جریان است که ارتفاع آب روی سرریز در یک میزان بازشدگی دریچه خاص برای اولین بار برابر صفر گردد. رسیدن به آستانه دریچه به دلیل نیاز به آزمون و خطاهای بسیار، امری دشوار و زمان‌بر بوده لذا این ارتفاع بازشدگی خاص از طریق درون‌یابی داده‌های موجود برآورد شده است. نسبت قطر سازه به عرض کanal محدوده ۰/۱ تا ۰/۴ را پوشش داده است. آزمایش‌ها در شرایط جریان آزاد انجام شده و جریان ورودی محدوده اعداد فرود $Fr_{up} < 0/6$ و $We_{up} < 1/0$ ، رینولدز $Re_{up} < 62000$ و پر $y_{up} < 21$ را در برگرفته است. به عبارت دیگر، جریان ورودی زیربحراتی و آشفته بوده است. محدوده دبی مورد مطالعه ۱۲ لیتر بر ثانیه بوده و دبی ورودی به فلوم با استفاده از یک دبی‌سنچ مغناطیسی کالیبره شده با دقت $\pm 0/1$ لیتر بر ثانیه، اندازه‌گیری شد. جریان مورد مطالعه دائمی و متغیر سریع در محدوده سازه استوانه‌ای می‌باشد. عمق آب در بالادست سازه (y_{up})، ارتفاع آب روی سرریز در بالادست (H_w)، عمق پایاب (y_d) توسط لیمنیمتری با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر برداشت شد. شکل (۱) مقطع کanal و سازه‌های استوانه‌ای مورد بررسی را نمایش می‌دهد.

خطوط جریان شده و شرایط جریان به حالت تئوریک نزدیک‌تر می‌گردد و در نتیجه کالیبراسیون ضریب شدت جریان سازه ترکیبی و تخمین دبی جریان با دقت بیشتری انجام می‌پذیرد. قره‌گزلو [۴] به بررسی آزمایشگاهی تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی بر ضریب دبی جریان همزمان از مدل ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای پرداخت. نتایج تحقیقات وی نشان دادند که ضریب دبی سرریز- دریچه استوانه‌ای به پارامترهای بدون بعد نسبت عمق آب بالادست به قطر سازه (D / y_{up}) و نسبت عمق آب بالادست به قطر سازه (D / y_{up}) وابسته است. وی همچنین نشان داد که ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز- دریچه استوانه‌ای در یک y_{up} / D و y_{up} / a ثابت، به میزان ۵۰ درصد بیشتر از ضریب دبی سرریز- دریچه لبه تیز در حالت مشابه است. مسعودیان و قره‌گزلو [۵] به بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر ضریب دبی سرریز استوانه‌ای در کanal آزمایشگاهی کوچک پرداختند و نتیجه گرفتند که ضریب دبی عبوری از سرریز استوانه‌ای با افزایش پارامترهای بدون بعد We ، H_w / y_{up} ، H_w / R ، Re و Fr_{up} می‌یابد. مسعودیان و همکاران [۶] به بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی اثرگذار بر دبی عبوری از دریچه استوانه‌ای پرداختند و نتیجه مطالعات آنان حاکی از آن است که با افزایش مقادیر پارامترهای بدون بعد نسبت عمق آب بالادست به قطر دریچه استوانه‌ای و نسبت عمق آب بالادست به ارتفاع بازشدگی دریچه ضریب دبی در ابتدا با شبیه تند و سپس با شبیه کمتر افزایش یافته و در نهایت به مقدار ثابتی میل می-نماید. در یک y_{up} / D ثابت با افزایش میزان بازشدگی دریچه، ضریب دبی کاهش یافته و به علاوه ضریب دبی دریچه استوانه‌ای در مقادیر دبی‌های بالا تقریباً یک بوده و بیشتر از ضریب دبی دریچه کشویی است.

با جابه‌جا نمودن موقعیت سازه در راستای عمود بر جهت جریان نسبت دبی عبوری از دریچه و سرریز تغییر می‌نماید. در نتیجه شناسه‌های هیدرولیکی ضریب دبی و افت انرژی سازه ترکیبی نیز تغییر خواهد نمود. از جمله کاربردهای سازه استوانه-ای با قابلیت جابه‌جایی در راستای عمود بر جهت جریان می‌توان به کنترل و اندازه‌گیری هر چه دقیق‌تر جریان عبوری در شرایط مختلف کم آبی و پر آبی بر حسب مورد استفاده اشاره نمود. لذا در این مطالعه به بررسی آزمایشگاهی اثر تغییر موقعیت سازه در راستای عمود بر جهت جریان عبوری در سازه سرریز- دریچه استوانه‌ای در حالتی که سازه در عمق کanal حرکت نموده و

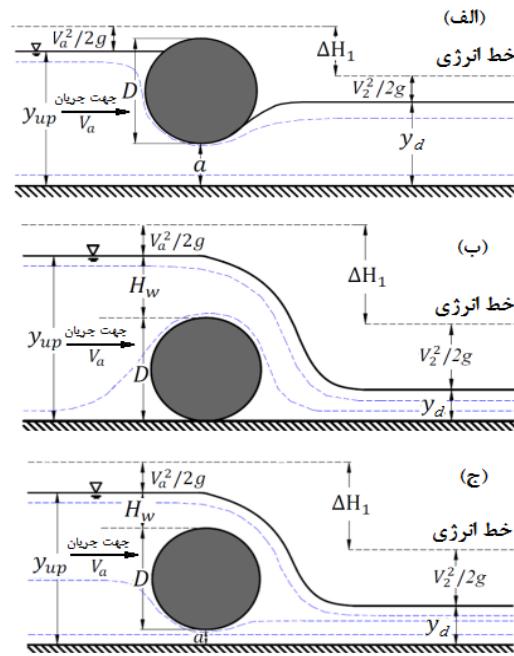
μ لزجت دینامیکی سیال (Ns/m^2), σ کشش سطحی (N/m), و g شتاب ثقل (m/s^2) می‌باشند. با توجه به تئوری پای باکینگهام، چنانچه پارامترهای D , a , ρ و g به عنوان متغیرهای تکراری در نظر گرفته شوند، گروههای بدون بعد رابطه (۲) را خواهیم داشت.

$$f_1 \left(\frac{\frac{Q_s}{g^{0.5} y_{up}^{2.5}}}{D}, \frac{y_{up}}{D}, \frac{y_d}{D}, \frac{H_w}{D}, \frac{a}{D}, \frac{B}{D}, \frac{H_{up}}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{\delta}{D}, S_0, Re_{up}, We_{up}, Fr_{up}, Fr_w, Fr_g, C_{ds} \right) = 0 \quad (2)$$

به دلیل عدم وجود فشردگی (δ) و ثابت بودن مقادیر عرض کanal (B) و شیب کانال (S_0) ترم‌های بدون بعد D , δ/D , B/D و S_0 از رابطه فوق حذف شده‌اند. به علاوه، به دلیل محدودیت امکانات و تجهیزات آزمایشگاهی لازم جهت اندازه‌گیری جداگانه سرعت و دبی جریان عبوری از هر یک از سازه‌های سریز و دریچه در شرایطی که جریان همزمان از سازه Fr_g ترکیبی سریز- دریچه عبور می‌نماید، برآورد Fr_w و Fr_g مقدور نبوده، لذا از شناسه‌های Fr_w و Fr_g صرف‌نظر شده است. همچنین به دلیل ورقه‌ای نبودن و آشفته بودن جریان عبوری از سازه‌های استوانه‌ای مورد مطالعه، تأثیرات لزجت در رفتار سیال نادیده گرفته شده و همچنین با رعایت محدودیت حداقل ارتفاع آب روی سریز سازه ترکیبی جهت کاهش تأثیرگذاری کشش سطحی بر رفتار جریان (ارتفاع آب روی سازه بیشتر از 0.06 متر)، ترم‌های بدون بعد Re_{up} و We_{up} از رابطه (۲) حذف شده‌اند. ضمن بررسی ارتباط هر جفت از شناسه‌های بدون بعد ارائه شده در رابطه (۲)، با ترکیب هر جفت پارامتر مذکور به بررسی تأثیر تغییرات ضریب دبی با پارامترهای بدون بعد نمایش داده شده در رابطه (۳) پرداخته شده است.

$$C_{ds} = f_2 \left(\frac{\frac{Q_s}{g^{0.5} y_{up}^{2.5}}, \frac{y_{up}}{D}, \frac{y_{up}}{y_d}, \frac{H_w}{y_{up}}}{\frac{a}{y_{up}}, Fr_{up}, \frac{a}{\Delta H_1}} \right) \quad (3)$$

در رابطه فوق، Fr_{up} و ΔH_1 به ترتیب عدد فرود در بالادست و افت انرژی بین مقاطع بالادست و پایین‌دست می‌باشند.



شکل ۱- (الف) دریچه استوانه‌ای، (ب) سریز استوانه‌ای، (ج) سریز- دریچه استوانه‌ای

۳- تحلیل ابعادی و روابط مورد استفاده در محاسبات

۳-۱- تحلیل ابعادی

در سیستم هیدرولیکی مورد مطالعه جهت به کمیت در آوردن رفتار هیدرولیکی جریان همزمان عبوری از سریز- دریچه استوانه‌ای پارامترهای هیدرولیکی و هندسی زیر به عنوان فاکتورهای مؤثر بر سیستم مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

$$f_0 \left(\frac{Q_s, C_{ds}, V_a, V_w, V_g, a, B, S_0, y_{up},}{y_d, H_w, H_{up}, H_d, D, \rho, \mu, \sigma, \delta, g} \right) = 0 \quad (1)$$

که در آن B عرض کanal (m), a ارتفاع بازشدگی دریچه S_0 شیب کانال (m/m), D قطر سازه استوانه‌ای (m), δ اندازه فشردگی (m), Q_s دبی جریان عبوری از سازه (m³/s), V_a سرعت جریان نزدیک شونده در بالادست سازه (m/s), V_w سرعت جریان روی سریز (m/s), V_g سرعت جریان زیر دریچه (m/s), y_{up} عمق آب در بالادست سازه (m), y_d عمق آب در پایین‌دست سازه (m), H_w ارتفاع آب روی سریز در بالادست سازه (m), H_{up} انرژی موجود در مقطع بالادست سازه (m), H_d انرژی موجود در مقطع پایین‌دست سازه (m), ρ جرم مخصوص سیال (kg/m³), μ لزجت دینامیکی سیال (Ns/m²), σ کشش سطحی (N/m) و g شتاب ثقل (m/s²) می‌باشند.

$$C_{ds} = \frac{Q_s}{B \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_w^{1.5} + aB \sqrt{2gy_{up}}} \quad (7)$$

۳-۳- برآورد افت انرژی

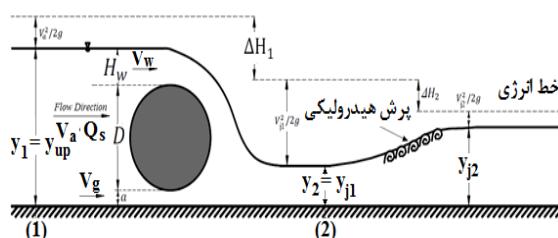
مقدار انرژی موجود در هر مقطع جریان از یک کanal باز را می‌توان به شکل زیر بیان نمود:

$$H_t = y + \frac{\alpha V^2}{2g} + Z \quad (8)$$

با استفاده از رابطه فوق، معادله انرژی بین دو مقطع به صورت زیر نوشته می‌شود [۸]:

$$y_1 + \frac{\alpha V_1^2}{2g} = y_2 + \frac{\alpha V_2^2}{2g} + \Delta Z + \Delta H_1 \quad (9)$$

در رابطه فوق، H_t انرژی در هر مقطع (m)، y_1 عمق آب در مقطع یک (m)، V_1 سرعت جریان در مقطع یک (m/s)، α ضریب تصحیح انرژی که در مقاطع مورد نظر ΔZ اختلاف ارتفاع موجود بین دو مقطع یک و دو (m)، که در مطالعه حاضر به علت افقی بودن کanal مقدار آن برابر صفر می‌باشد، y_2 عمق آب در مقطع دو (m)، V_2 سرعت جریان در مقطع دو (m/s)، g شتاب ثقل (m/s²)، ΔH_1 افت انرژی (m) و α ضریب تصحیح انرژی که در مقاطع مورد نظر $\alpha=1$ در نظر گرفته شده است. شکل (۳) محلهای برداشت عمق جهت محاسبه افت انرژی حاصل از عبور جریان از رو و زیر سازه و همچنین افت پرش هیدرولیکی را نشان می‌دهد.

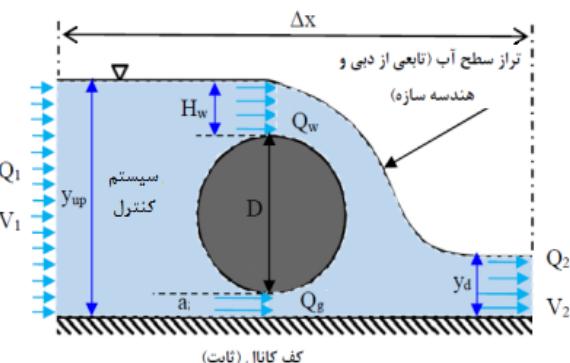


۲-۳- برآورد ضریب دبی سرریز- دریچه استوانهای

دبی کل عبوری از سرریز- دریچه بر اساس اصل پیوستگی (رابطه (۴) و شکل (۳)) به دو قسمت تقسیم می‌شود؛ بخشی از جریان از روی سرریز عبور می‌کند که جریان سرریز نامیده شده و روابط سرریز بر آن حکم‌فرما است و بخش دوم از زیر دریچه عبور می‌کند که جریان پاریزی نامیده شده و روابط دریچه بر آن حاکم است. می‌توان بیان داشت:

$$Q_s = Q_w + Q_g \quad (4)$$

که Q_s دبی کل عبوری از سازه ترکیبی سرریز- دریچه Q_w دبی عبوری از سرریز استوانهای (m^3/s) و Q_g دبی عبوری از دریچه استوانهای (m^3/s) می‌باشد [۲].



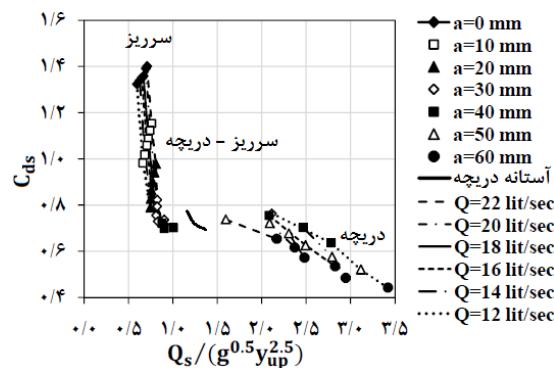
رابطه (۵) را جهت برآورد دبی سرریزهای استوانهای ارائه نموده است.

$$Q_w = C_{dw} B \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} g H_w^{1.5} \quad (5)$$

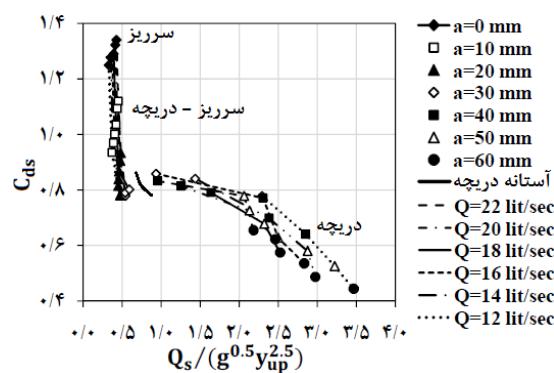
که در آن C_{dw} ضریب آبگذری سرریز می‌باشد. دبی عبوری از دریچه استوانهای از رابطه (۶) به دست می‌آید [۸].

$$Q_g = C_{dg} aB \sqrt{2gy_{up}} \quad (6)$$

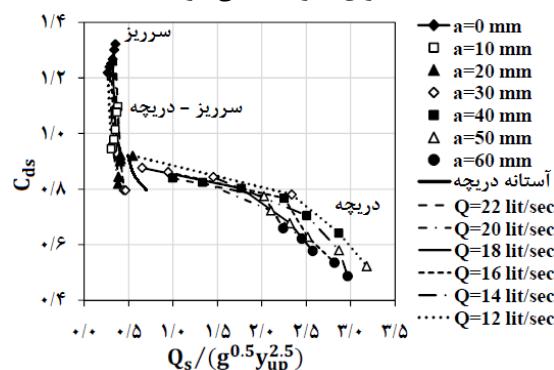
که در آن C_{dg} ضریب آبگذری دریچه می‌باشد. لذا ضریب دبی سازه ترکیبی از رابطه (۷) قابل محاسبه می‌باشد [۲].



شکل ۵- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد برای قطر ۷۵ میلی‌متر



شکل ۶- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد برای قطر ۱۱۰ میلی‌متر



شکل ۷- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد برای قطر ۱۲۵ میلی‌متر

با توجه به شکل‌های (۴) تا (۷)، تغییرات $Q_s / g^0.5 y_{up}^{2.5}$ برای جریان‌های سرریزی در محدوده $0/0 \text{ تا } 0/26$ و برای جریان‌های همزمان سرریزی-پاریزی در محدوده $0/3 \text{ تا } 0/24$ و برای جریان پاریزی از دریچه استوانه‌ای در محدوده $0/54 \text{ تا } 0/47$ صورت گرفته است. روند کاهشی غیر خطی برای تغییرات

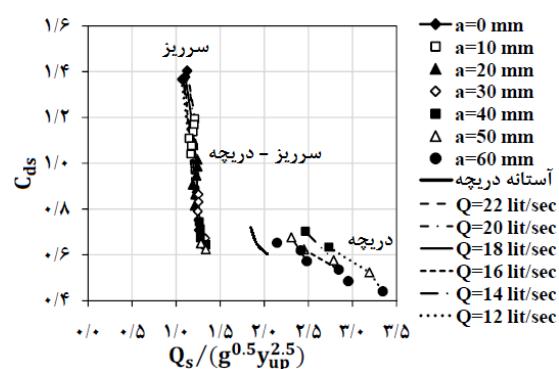
۴- نتایج و بحث

تمامی شکل‌های حاصل از بررسی تغییرات ضریب دبی بر حسب پارامترهای بدون بعد به دست آمده از تحلیل ابعادی برای هر مدل فیزیکی در برگیرنده حالت‌های سرریز استوانه‌ای، سرریز-دریچه استوانه‌ای و دریچه استوانه‌ای برای بازشدنی‌ها و دبی‌های مختلف در قطری مشخص را نمایش می‌دهند. در تمامی شکل‌ها مشاهده شده با کاهش ارتفاع بازشدنی دریچه تغییرات ضریب دبی روند افزایشی داشته، به گونه‌ای که بیشترین ضریب دبی در سرریز استوانه‌ای در محدوده $1/2 \text{ تا } 1/41$ و کمترین ضریب دبی در دریچه استوانه‌ای در محدوده $0/4 \text{ تا } 0/92$ مشاهده شده است. همچنین ضریب دبی جریان همزمان از سازه ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای در محدوده $0/6 \text{ تا } 1/2$ به دست آمده است. می‌توان کمینه بودن مقدار ضریب دبی در حالت دریچه استوانه‌ای را این گونه‌ای توجیه نمود که با افزایش ارتفاع بازشدنی دریچه، پس‌زدگی آب پشت سازه کاهش یافته، در نتیجه عمق آب بالادست سازه کاهش می‌یابد که منجر به کاهش ضریب دبی جریان عبوری از سازه می‌گردد.

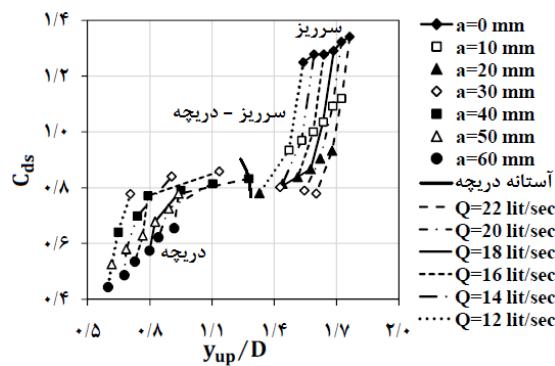
۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد

$Q_s / g^0.5 y_{up}^{2.5}$ در قطرهای مختلف

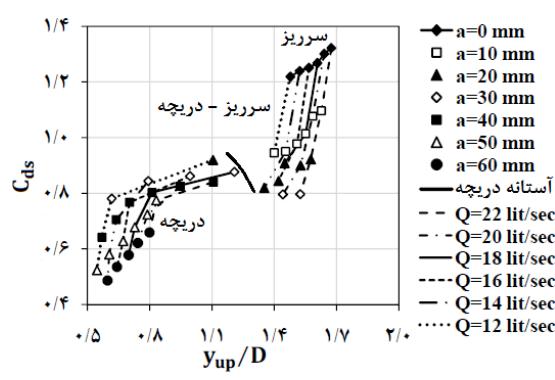
شکل‌های (۴) تا (۷) تغییرات ضریب دبی بر حسب پارامتر بدون بعد $Q_s / g^0.5 y_{up}^{2.5}$ را نمایش می‌دهند. در تمامی شکل‌ها، داده‌ها دو الگوی کاملاً متمایز کاهشی را برای جریان‌های سرریزی، همزمان سرریزی-پاریزی و پاریزی نشان داده‌اند. مشاهده شده که در تمامی قطرهای مورد بررسی ضمن تغییر ارتفاع بازشدنی دریچه، تغییرات ضریب دبی با تغییرات پارامتر بدون بعد $Q_s / g^0.5 y_{up}^{2.5}$ رابطه عکس دارد.



شکل ۸- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد برای قطر ۵۰ میلی‌متر



شکل ۱۰- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up}/D برای قطر ۱۱۰ میلی متر



شکل ۱۱- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up}/D برای قطر ۱۲۵ میلی متر

همچنین با کاهش میزان بازشدگی دریچه، پارامتر بدون بعد y_{up}/D اندکی افزایش یافته، که می‌توان این رفتار را این گونه توجیه نمود که با کاهش ارتفاع بازشدگی دریچه، پس زدگی آب پشت سازه افزایش یافته، در نتیجه عمق آب بالادست سازه افزایش می‌یابد.

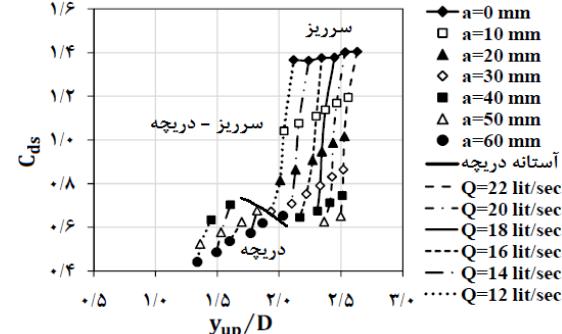
۳-۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد y_{up}/y_d در قطرهای مختلف

شکل های (۱۲) تا (۱۵) رابطه بین ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت عمق بالادست به عمق آب پایین دست سازه را نشان می دهند. قابل مشاهده است که در هر چهار قطر سازه مورد بررسی ضمن تغییر ارتفاع بازشدگی دریچه، تغییرات ضریب دبی و پارامتر بدون بعد y_{up}/y_d رابطه مستقیم داشته، به گونه ای که بیشترین مقدار ضریب دبی و y_d در سرریز است. با توجه به شکل های (۸) تا (۱۱)، تغییرات y_{up}/D برای جریان های سرریزی در محدوده ۱/۴۷ تا ۲/۶۴ و برای جریان های هم زمان سرریزی - پاریزی در محدوده ۱/۳۲ تا ۲/۵۶ و برای جریان پاریزی از دریچه استوانه ای در محدوده ۰/۵۴ تا ۰/۱، صورت گرفته است.

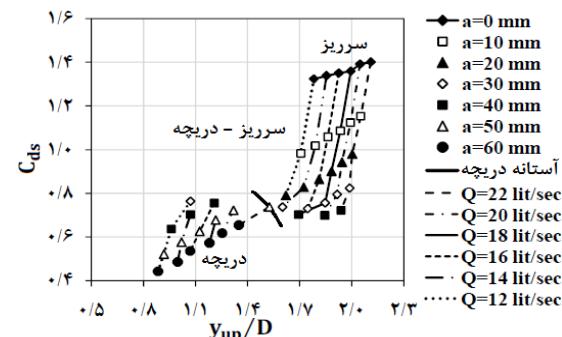
جفت فاکتور $[C_{ds} - Q_s/g^{0.5} y_{up}^{2.5}]$ در قطرهای ۱۱۰ و ۱۲۵ میلی متر مشاهده شده است.

۴-۲- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد y_{up}/D در دبی های مختلف

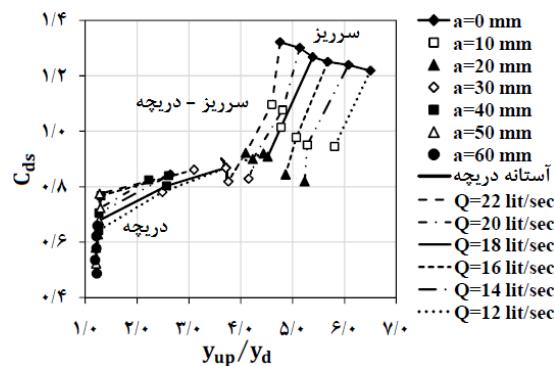
شکل های (۸) تا (۱۱) رابطه بین ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت عمق بالادست به قطر سازه استوانه ای را نشان می دهند. قابل مشاهده است که در هر چهار قطر سازه مورد بررسی، ضمن تغییر ارتفاع بازشدگی دریچه، تغییرات ضریب دبی با تغییرات y_{up}/D رابطه مستقیم داشته، به گونه ای که بیشترین مقدار ضریب دبی و پارامتر y_{up}/D به ترتیب در سرریز استوانه ای و دریچه استوانه ای مشاهده شده است. با توجه به شکل های (۸) تا (۱۱)، تغییرات y_{up}/D برای جریان های سرریزی در محدوده ۱/۴۷ تا ۲/۶۴ و برای جریان های هم زمان سرریزی - پاریزی در محدوده ۱/۳۲ تا ۲/۵۶ و برای جریان پاریزی از دریچه استوانه ای در محدوده ۰/۵۴ تا ۰/۱، صورت گرفته است.



شکل ۸- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up}/D برای قطر ۵۰ میلی متر



شکل ۹- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up}/D برای قطر ۷۵ میلی متر



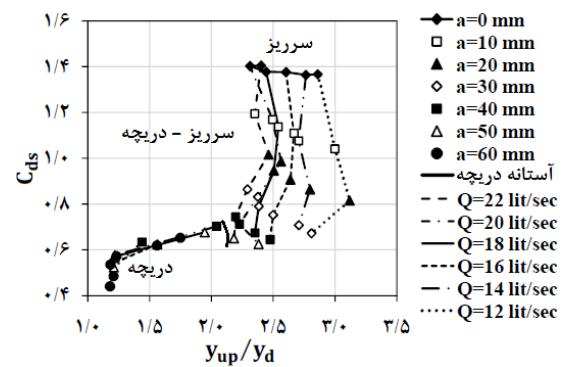
شکل ۱۵- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up} / y_d برای قطر ۱۲۵ میلی متر

شکل های (۱۲) تا (۱۵) نشان می دهند برای حالت سرریز- دریچه استوانه ای، در یک قطر و ارتفاع بازشدگی دریچه ثابت با افزایش دبی جریان عبوری، ضریب دبی افزایش یافته در حالی که مقدار پارامتر بدون بعد y_{up} / y_d کاهش می یابد. به هر حال، اختلاط در داده ها در حالت پاریزی نیز دیده شده است که بیانگر استقلال تغییرات جفت پارامتر $[C_{ds} - y_{up} / y_d]$ می باشد.

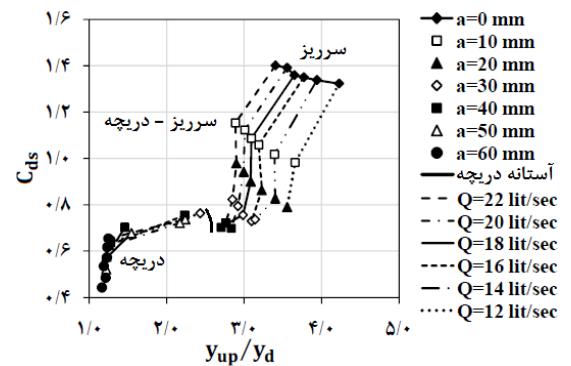
۴-۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} در دبی های مختلف

شکل های (۱۶) تا (۱۸) تغییرات ضریب دبی بر حسب پارامتر بدون بعد نسبت عمق آب روی سرریز به عمق آب در بالادرست سازه را در یک دبی مشخص نمایش می دهند. قابل مشاهده است که در هر چهار قطر سازه مورد بررسی با کاهش ارتفاع بازشدگی دریچه تغییرات ضریب دبی روند کاهشی غیر خطی بر حسب پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} داشته است. با توجه به شکل های (۱۶) تا (۱۸)، تغییرات H_w / y_{up} برای جریان پاریزی از دریچه استوانه ای برابر صفر است. برای حالت سرریز- دریچه استوانه ای، در دبی و ارتفاع بازشدگی دریچه ثابت با افزایش قطر سازه، ضریب دبی کمی کاهش می یابد. این رفتار این گونه قابل توجیه است که با افزایش قطر سازه، تیغه جریان از روی سرریز به زیر دریچه کشیده می گردد که این پدیده در خلاف جهت توجیه است که دریچه از دریچه است. بنابراین روی جریان عبوری از دریچه فشار مثبت ایجاد می شود و سبب کاهش ضریب دبی می گردد.

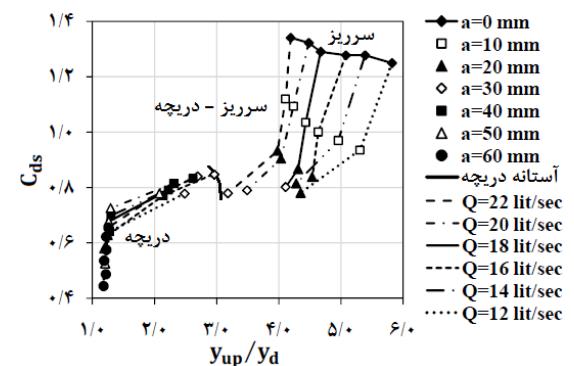
y_{up} / y_d برای جریان های سرریزی در محدوده ۲/۳۱ تا ۶/۵۱ و برای جریان های همزمان سرریزی- پاریزی در محدوده ۲/۱۸ تا ۵/۸۲ و برای جریان پاریزی از دریچه استوانه ای در محدوده ۱/۱۶ تا ۴/۴۵، صورت گرفته است.



شکل ۱۶- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up} / y_d برای قطر ۵۰ میلی متر

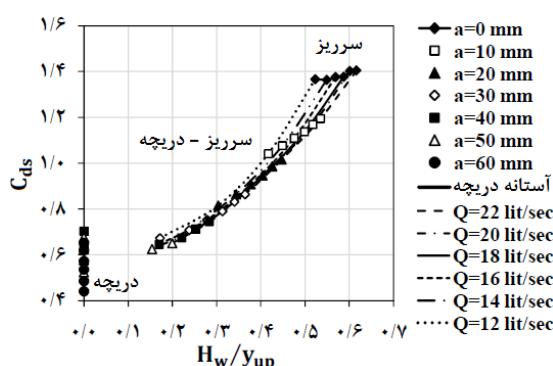


شکل ۱۳- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up} / y_d برای قطر ۷۵ میلی متر

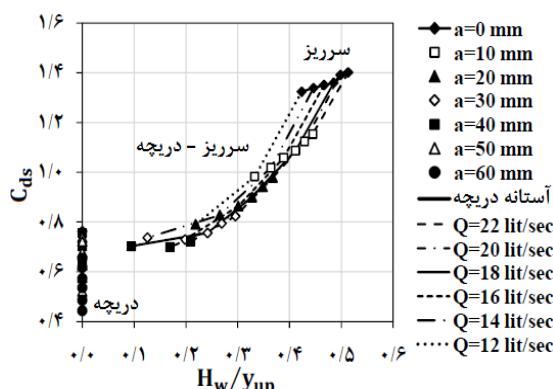


شکل ۱۴- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد y_{up} / y_d برای قطر ۱۱۰ میلی متر

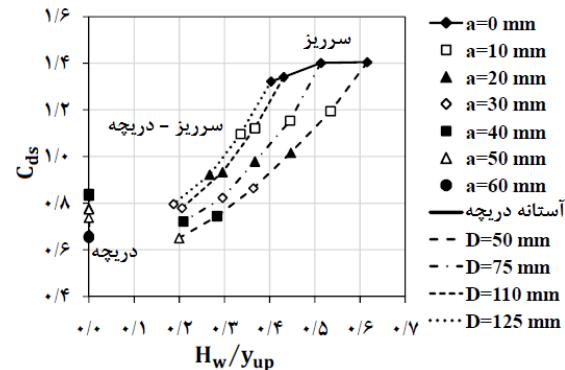
سازه را در قطرهای مورد بررسی نشان می‌دهند. قابل مشاهده است که در هر چهار قطر سازه مورد بررسی ضمن تغییر ارتفاع بازشدگی دریچه، تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} رابطه‌ای مستقیم داشته، به نحوی که کمترین مقدار پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} در حالت دریچه استوانه‌ای مشاهده شده و مقدار آن برابر با صفر می‌باشد، زیرا در این سازه مقدار جریان سرریزی برابر صفر است ($H_w = 0$). محدوده تغییرات H_w / y_{up} در جریان هم‌زمان سرریز-پاریزی از سازه سرریز-دریچه استوانه‌ای و محدوده استوانه‌ای مشاهده شده است. برای حالت سرریز-دریچه استوانه‌ای، در یک قطر و ارتفاع بازشدگی دریچه ثابت با افزایش دبی جریان عبوری، ضریب دبی افزایش می‌یابد.



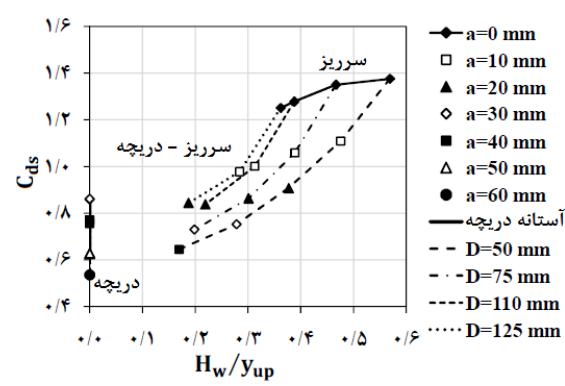
شکل ۱۶- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} برای قطر ۲۲ لیتر بر ثانیه



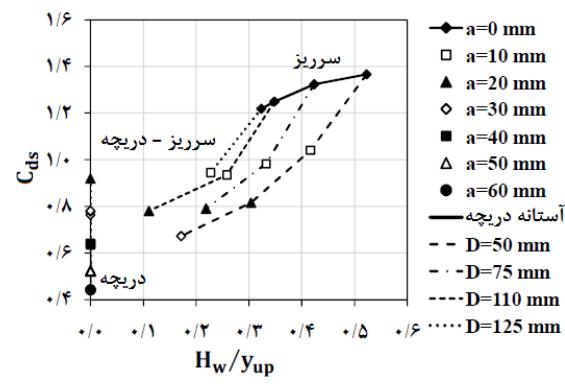
شکل ۱۷- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} برای قطر ۱۶ لیتر بر ثانیه



شکل ۱۸- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} برای دبی ۱۲ لیتر بر ثانیه



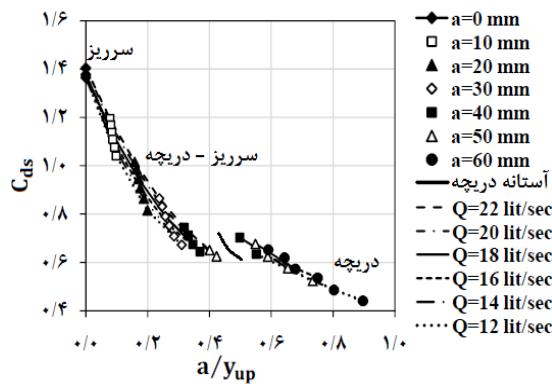
شکل ۱۹- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} برای قطر ۵۰ میلی‌متر



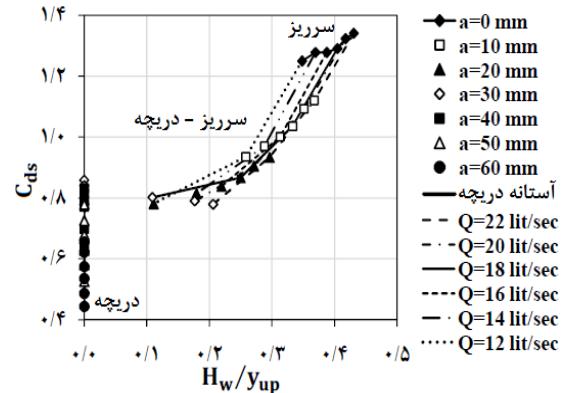
شکل ۲۰- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} برای قطر ۷۵ میلی‌متر

۴-۵-۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} در قطرهای مختلف

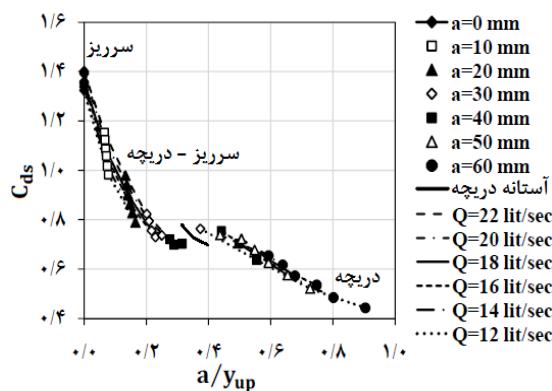
شکل‌های (۱۹) تا (۲۲) رابطه بین ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت عمق آب روی سرریز به عمق آب در بالادست



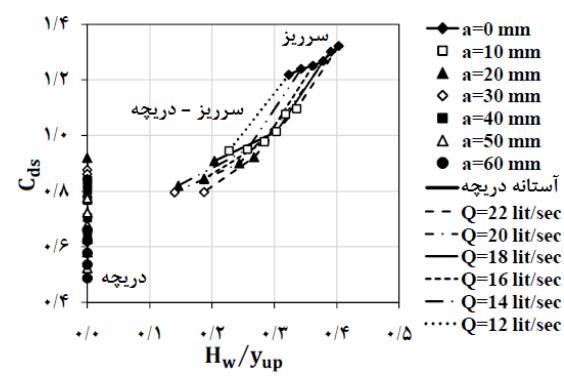
شکل ۲۳- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد a / y_{up} برای قطر ۵۰ میلی‌متر



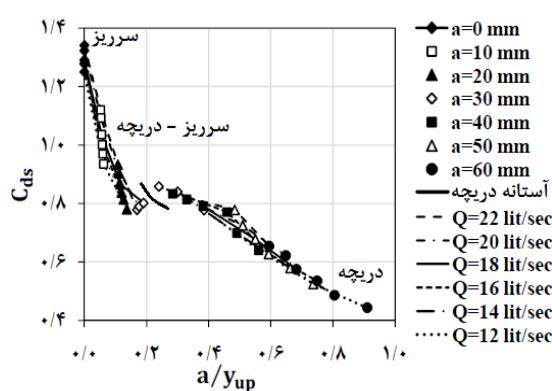
شکل ۲۱- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} برای قطر ۱۱۰ میلی‌متر



شکل ۲۴- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد a / y_{up} برای قطر ۷۵ میلی‌متر



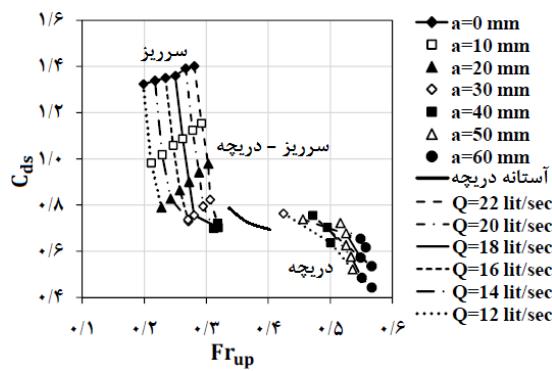
شکل ۲۲- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد H_w / y_{up} برای قطر ۱۲۵ میلی‌متر



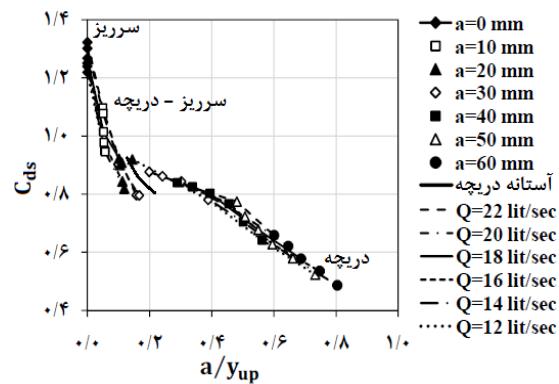
شکل ۲۵- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد a / y_{up} برای قطر ۱۱۰ میلی‌متر

۶-۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد a / y_{up} در قطرهای مختلف

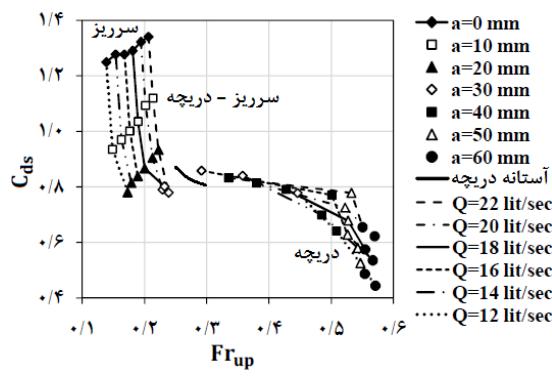
شکل‌های (۲۳) تا (۲۶) رابطه بین ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت ارتفاع بازشدگی دریچه به عمق آب در بالادست سازه را نشان می‌دهند. داده‌ها دو روند متمایز برای جریان عبوری از سرریز-دریچه استوانه‌ای (الگوی غیر خطی) و دریچه استوانه‌ای (الگوی خطی) را نشان داده‌اند. در جریان‌های هم‌زمان سرریزی-پاریزی در یک دبی و قطر ثابت، با افزایش ارتفاع بازشدگی دریچه، تغییرات ضریب دبی روند کاهشی و تغییرات پارامتر بدون بعد a / y_{up} روند افزایشی داشته، به گونه‌ای که مقدار پارامتر a / y_{up} در حالت سازه سرریز استوانه‌ای دارای کمترین مقدار (برابر صفر) بوده است. تغییرات a / y_{up} در حالت سازه ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای در محدوده $0.43 < a / y_{up} < 0.40$ و در حالت دریچه استوانه‌ای در محدوده $0.92 < a / y_{up} < 0.94$ دارای بیشترین مقدار می‌باشد.



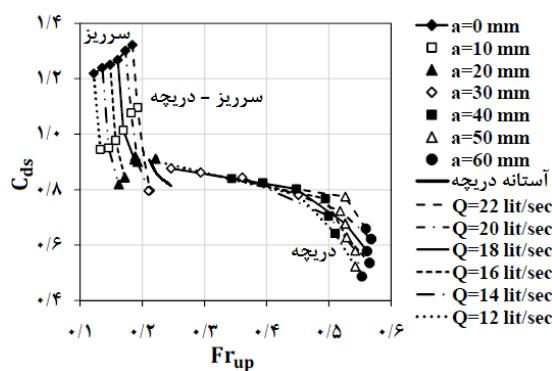
شکل ۲۸- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد Fr_{up} برای قطر ۷۵ میلی‌متر



شکل ۲۶- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد a / y_{up} برای قطر ۱۲۵ میلی‌متر



شکل ۲۹- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد Fr_{up} برای قطر ۱۱۰ میلی‌متر



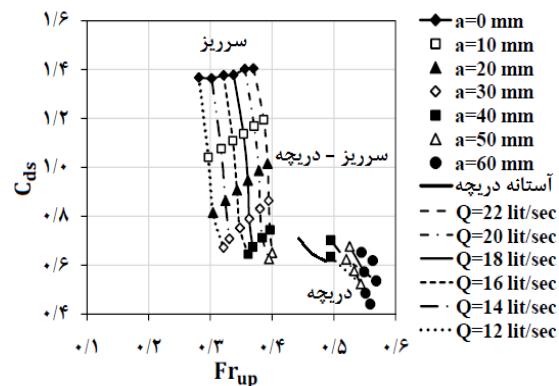
شکل ۳۰- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد Fr_{up} برای قطر ۱۲۵ میلی‌متر

۸-۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد $a / \Delta H_1$ در قطرهای مختلف

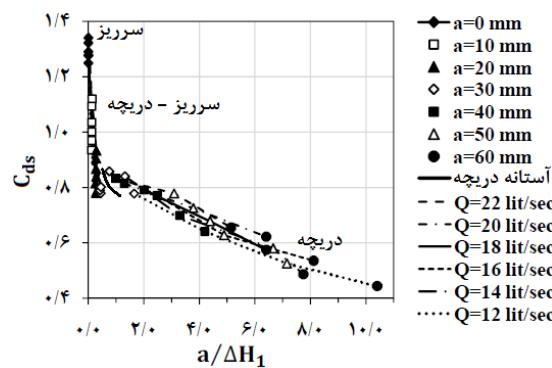
شکل های (۳۱) تا (۳۴) تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت ارتفاع بازشدگی دریچه به افت انرژی جریان عبوری از سازه را در هر مدل فیزیکی نشان می‌دهند. در تمامی شکل ها،

۷-۴- تغییرات ضریب دبی با پارامتر بدون بعد Fr_{up} در قطرهای مختلف

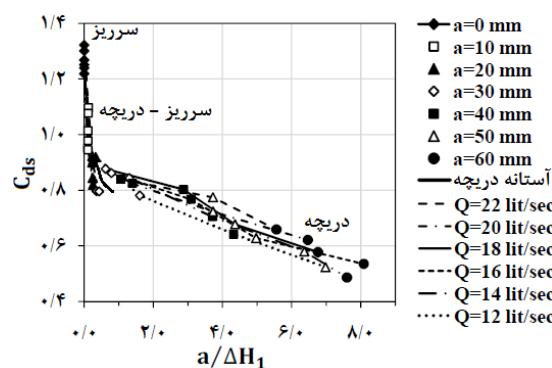
شکل های (۲۷) تا (۳۰) رابطه بین ضریب دبی با پارامتر بدون بعد فرود بالادست سازه را نشان می‌دهند. همان‌گونه که قابل مشاهده است در یک قطر و ارتفاع بازشدگی دریچه ثابت با افزایش میزان پارامتر بدون بعد Fr_{up} ضریب دبی روند کاهشی و خطی داشته، که این روند در تمامی قطرهای مورد مطالعه دیده شده است. روند مشاهده شده در جریان پاریزی کاهشی و غیرخطی است و تغییرات $[C_{ds} - Fr_{up}]$ مستقل از قطر و دبی عبوری است. با توجه به شکل ها، تغییرات Fr_{up} برای جریان های سرریزی در محدوده ۰/۰۱۲ تا ۰/۰۳۷، برای جریان های هم زمان سرریزی-پاریزی در محدوده ۰/۰۱۳ تا ۰/۰۴۱ و برای جریان پاریزی از دریچه استوانه ای در محدوده ۰/۰۱۸ تا ۰/۰۵۸ صورت گرفته است.



شکل ۲۷- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد Fr_{up} برای قطر ۵۰ میلی‌متر



شکل ۳۳- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد $a / \Delta H_1$ برای قطر ۱۱۰ میلی‌متر

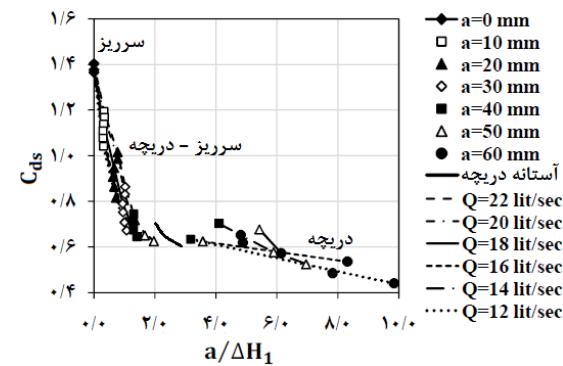


شکل ۳۴- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد $a / \Delta H_1$ برای قطر ۱۲۵ میلی‌متر

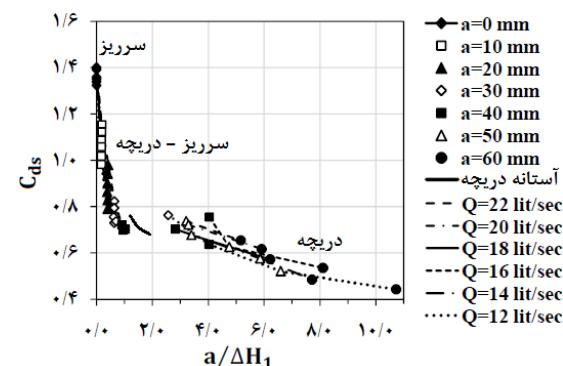
۴-۹-۴- تغییرات افت انرژی جریان عبوری از سازه ترکیبی در اثر جابه‌جایی در راستای عمود بر جهت جریان

شکل‌های (۳۵) تا (۳۷) تغییرات افت انرژی در برابر تغییرات ارتفاع بازدگی دریچه در اثر جابه‌جایی سازه استوانه‌ای در راستای عمود بر جهت جریان را نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌ها با افزایش قطر سازه افت انرژی افزایش می‌یابد. این مسئله به این شکل قابل توجیه است که افزایش قطر سازه سبب کشیده شدن تیغه جریان از روی سرریز به زیر دریچه و عدم همسو بودن آن با جریان عبوری از زیر دریچه موجب افزایش افت انرژی می‌گردد. قابل ملاحظه است که بیشترین میزان افت انرژی در سرریز استوانه‌ای در محدوده $0.03 / 0.04$ تا $0.06 / 0.07$ متر و کمترین میزان افت انرژی در دریچه استوانه‌ای در محدوده $0.04 / 0.05$ تا $0.06 / 0.07$ متر می‌یابد و همچنین مقدار افت انرژی سازه ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای در محدوده $0.025 / 0.03$ تا $0.04 / 0.05$ متر متغیر بوده است. کاهش افت انرژی با حرکت سازه استوانه‌ای به سمت بالا را این گونه می‌توان استدلال نمود که با جابه‌جا شدن سازه

داده‌ها دو الگوی کاهشی خطی با شیب متفاوت را برای جریان-های سرریز-پاریزی و پاریزی از دریچه استوانه‌ای نشان داده‌اند. همان‌گونه که قابل مشاهده است، با افزایش ارتفاع بازدگی $a / \Delta H_1$ دریچه ضریب دبی روند کاهشی و پارامتر بدون بعد $a / \Delta H_1$ روند افزایشی داشته است، به گونه‌ای است که کمترین مقدار $a / \Delta H_1$ در سرریز استوانه‌ای برابر با صفر بوده و در حالتی که جریان هم‌زمان از سازه سرریز-دریچه استوانه‌ای وجود دارد، تغییرات $a / \Delta H_1$ در محدوده $0 / 1$ تا $1 / 97$ می‌یابشد و بیشترین مقدار آن در دریچه استوانه‌ای در محدوده $0 / 32$ تا $11 / 13$ می‌باشد. این روند این گونه قابل توجیه است که با حرکت سازه به سمت بالا یعنی افزایش ارتفاع بازدگی، با عبور جریان از زیر دریچه انحنای خطوط جریان در بالادست سازه و پایین‌دست هر دو کمتر از حالت سازه سرریز استوانه‌ای می‌یابد؛ لذا با افزایش ارتفاع بازدگی میزان انحنای خطوط جریان در بالادست و پایین‌دست سازه کاهش یافته که منجر به کاهش افت انرژی و در نتیجه افزایش $a / \Delta H_1$ می‌گردد.



شکل ۳۱- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد $a / \Delta H_1$ برای قطر ۵۰ میلی‌متر



شکل ۳۲- ضریب دبی در برابر پارامتر بدون بعد $a / \Delta H_1$ برای قطر ۷۵ میلی‌متر

۱۰-۴- استخراج معادلات تجربی

از طریق تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS^۱، روابط همبستگی بین ضریب دبی و شناسه‌های بدون بعد حاصل از تحلیل ابعادی براساس رگرسیون غیر خطی چندگانه در قالب معادله‌های (۱۰) تا (۱۲) به دست آمده است.

معادله (۱۰) جهت برآورد ضریب دبی سازه سریز در محدوده $H_w / D < 2/64$ و $y_{up} / D < 1/47$ محدوده $0/12 < Fr_{up} < 0/37$ و $0/32 < H_w / y_{up} < 0/62$ ، $0/47$ با $R^2 = 0/941$ و $SEE = 0/013$ معتبر است.

$$C_{dw} = 2.218 \left(\frac{y_{up}}{D} \right)^{-0.256} \left(\frac{H_w}{y_{up}} \right)^{0.438} \quad (10)$$

معادله (۱۱) جهت برآورد ضریب دبی سازه سریز- دریچه استوانه‌ای در محدوده $2/56 < y_{up} / D < 1/37$ و $1/32 < y_{up} / a < 2/32$ و $0/14 < H_w / D < 0/41$ با $R^2 = 0/965$ و $SEE = 0/026$ با $0/13 < Fr_{up} <$ معتبر است.

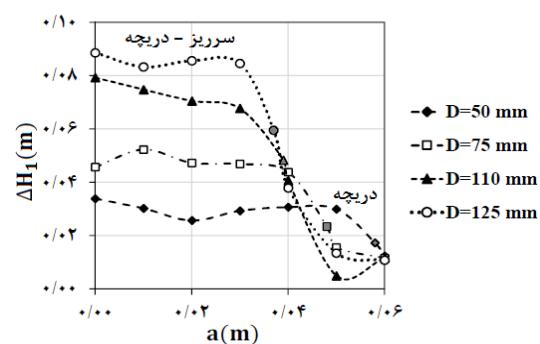
$$C_{ds} = 0.648 \left(\frac{a}{y_{up}} \right)^{-0.211} \left(\frac{H_w}{D} \right)^{0.176} \quad (11)$$

معادله (۱۲) جهت برآورد ضریب دبی دریچه استوانه‌ای در محدوده $0/04 < a / D < 1/2$ و $0/54 < y_{up} / D < 2/1$ با $0/026 < Fr_{up} < 0/58$ و $1/08 < y_{up} / a < 7/15$ با $R^2 = 0/931$ و $SEE =$ به دست آمده است.

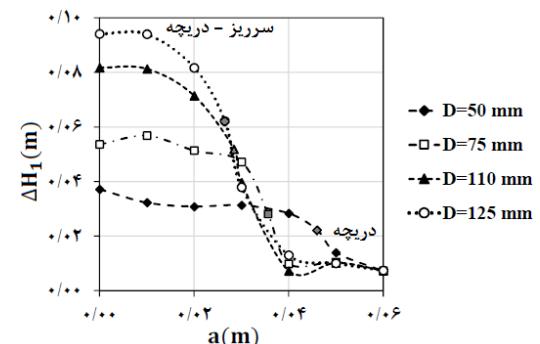
$$C_{dg} = 0.464 \left(\frac{y_{up}}{D} \right)^{0.006} \left(\frac{y_{up}}{a} \right)^{0.563} \quad (12)$$

شکل‌های (۳۸) تا (۴۰) تغییرات ضریب دبی محاسبه شده از معادلات (۱۰) تا (۱۲) را در مقابل ضریب دبی جریان عبوری اندازه‌گیری شده نشان می‌دهند. همان‌طور که دیده می‌شود، معادلات فوق به لحاظ مهندسی از دقت خوبی برخوردار می‌باشند.

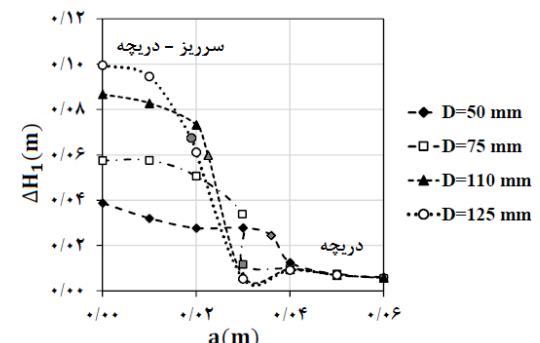
به سمت بالا یعنی افزایش ارتفاع بازشدگی دریچه، با عبور جریان از زیر دریچه، انحنای خطوط جریان در بالادست و پایین دست سازه هر دو کمتر از حالت سازه سریز استوانه‌ای می‌باشد. لذا با افزایش ارتفاع بازشدگی دریچه، میزان انحنای خطوط جریان در بالادست و پایین دست سازه کاهش یافته که منجر به کاهش افت آستانه دریچه (ناحیه گذار جریان هم‌زمان سریزی- پاریزی به جریان پاریزی) می‌باشند.



شکل ۳۵- افت انرژی ورودی در برابر بازشدگی دریچه در دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه



شکل ۳۶- افت انرژی ورودی در برابر بازشدگی دریچه در دبی ۱۶ لیتر بر ثانیه



شکل ۳۷- افت انرژی ورودی در برابر بازشدگی دریچه در دبی ۱۲ لیتر بر ثانیه

۵- مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایر محققین مطالعات مسعودیان و قره‌گزلو [۵] و مسعودیان و همکاران [۶] به ترتیب حاکی از رابطه مستقیم ضریب دی سریز استوانه‌ای با پارامتر بدون بعد y_{up} و رابطه مستقیم ضریب دی دریچه استوانه‌ای با پارامترهای بدون بعد D و y_{up}/a می‌باشد که با نتایج مطالعه حاضر که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است، مطابقت دارد.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق حاضر عبارتند از:

۱- تغییرات ضریب دی با تغییرات پارامترهای بدون بعد $a/\Delta H_{up}$, $Fr_{up}^{0.5}$, $a/y_{up}^{2.5}$, Q_s/g رابطه عکس دارد.

۲- تغییرات ضریب دی با تغییرات پارامترهای بدون بعد H_w/y_{up} , y_{up}/y_d و y_{up}/D رابطه مستقیم دارد.

۳- تغییرات ضریب دی با تغییرات ارتفاع بازشدگی دریچه ضمن جابه‌جایی سازه در راستای عمود بر جهت جریان رابطه عکس داشته، به‌گونه‌ای که بیشترین ضریب دی در سریز استوانه‌ای و کمترین ضریب دی در دریچه استوانه‌ای مشاهده شده است.

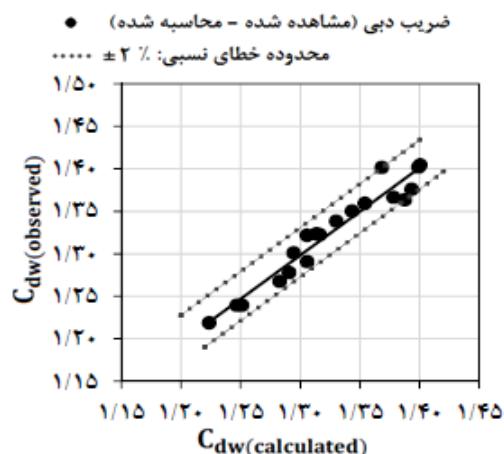
۴- تغییرات قطر سازه استوانه‌ای با تغییرات ضریب دی رابطه عکس و با تغییرات افت انرژی رابطه مستقیم داشته است.

۵- تغییرات افت انرژی با تغییرات ارتفاع بازشدگی دریچه ضمن جابه‌جایی سازه در راستای عمود بر جهت جریان رابطه عکس دارد، به‌گونه‌ای که بیشترین مقدار افت انرژی در سریز استوانه‌ای و کمترین مقدار افت انرژی در دریچه استوانه‌ای مشاهده شده است.

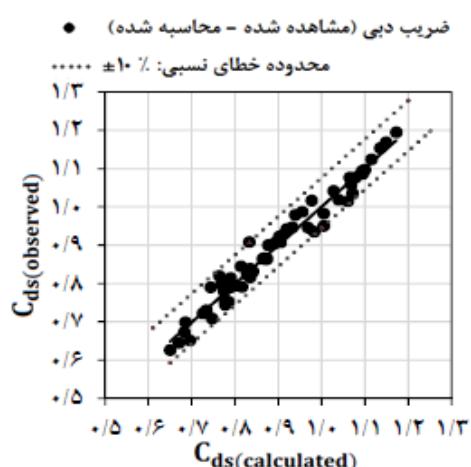
۶- روابط استخراج شده جهت برآورد ضریب دی سازه‌های سریز استوانه‌ای (رابطه (۱۰)), سریز-دریچه استوانه‌ای (رابطه (۱۱)) و دریچه استوانه‌ای (رابطه (۱۲)) در محدوده آزمایش‌های موردن مطالعه معتبر می‌باشند.

۷- مراجع

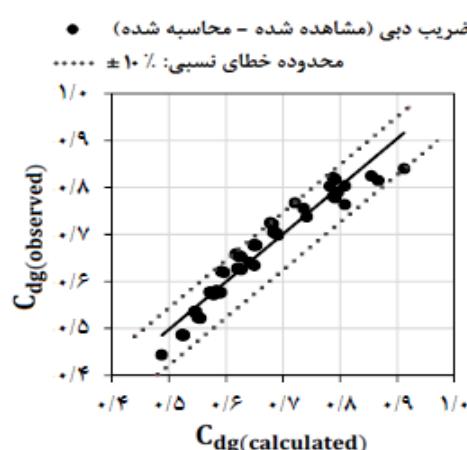
- [1] Chanson, H., Montes, J. S., "Over Flow Characteristics of Circular Weirs: Effects of Inflow Condition", Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 1998, 32 (1), 152-161.
- [2] Negm, A. M., Al- Brahim, A. M., Alhamid, A. A., "Combined Free Flow Wver Weirs and Below Gates", Journal of Hydraulic



شکل ۳۸- ضریب دی مشاهده شده در مقابل ضریب دی محاسبه شده سریز استوانه‌ای از معادله (۱۰)



شکل ۳۹- ضریب دی مشاهده شده در مقابل ضریب دی محاسبه شده سریز- دریچه استوانه‌ای از معادله (۱۱)



شکل ۴۰- ضریب دی مشاهده شده در مقابل ضریب دی محاسبه شده دریچه استوانه‌ای از معادله (۱۲)

- [6] Masoudian, M., Gharahgezou, M., Haber, B., "The Impact of Hydraulic and Geometric Parameters on the Cylindrical Gate Discharge Coefficient", Journal of Innova Science, 2012, 4 (7), 61-72.
- [7] Bos, M. G., "Discharge Measurement Structures", International Institute for Land Reclamation and Improvement/ LIRI Wageningen, the Netherlands, 1976, pp 107-126.
- [۸] حسینی، م، ابریشمی، ج، "هیدرولیک کانال‌های باز"، ویرایش دوم، انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد، ۱۳۸۶، ص ۵۰۰-۶۶.
- [۳] اسماعیلی، ک، فتحی‌مقدم، م، "ضریب دبی در مدل سریز-دریچه"، اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، اهواز، ایران، ۱۳۸۵.
- [۴] قره‌گلو، م، "بررسی آزمایشگاهی جریان هم‌زمان از مدل ترکیبی سریز-دریچه استوانه‌ای"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران، ۱۳۹۱.
- [5] Masoudian, M., Gharahgezou, M., "Flow Characteristics of Cylindrical Weirs in a Small Laboratory Canal", Journal of Science Series Data Report, 2012, 4 (4), 12-23.

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Investigation on Discharge Coefficient and Energy Loss amount Changes of a Cylindrical Weir-Gate with Vertical Movement

Armaghan Severi ^a, Mohsen Masoudian ^{a,*}, Esmaeil Kordi ^b, Klaus Roettcher ^c

^a Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

^b Aff. Member of ASCE and Assistant Professor, Civil Engineering Department, Mirdamad Institute of Higher Education, Gorgan, Iran

^c Faculty of Civil and Environmental Engineering, Ostfalia University, Suderburg, Germany

Received: 26 May 2013; Accepted: 08 January 2014

Keywords:

Energy loss, Movable cylindrical structure, Cylindrical weir-gate, Discharge coefficient

1. Introduction

The use of the cylindrical structures has some advantages such as low cost, simple design, easy construction and the higher discharge coefficient. Masoudian and Gharahgezou [1] performed several experiments on free over flow on a cylindrical weir to determine the discharge coefficient (C_d) and found that the C_d raises with increasing the non-dimensional ratios of $[H_w/R]$, in which R : cylinder radius, $[H_w/y_{up}]$ and non-dimensional numbers of Re and We . Masoudian et al. [2] performed a laboratory study on geometric and hydraulic parameters effect on the flow through the cylindrical weir that demonstrates with increasing the dimensionless ratio of $[y_{up}/D]$ and $[y_{up}/a]$, C_d goes up. They indicate that for a constant value of $[y_{up}/D]$ ratio, the C_d decreases with the increasing gate opening height as well as, cylindrical gate discharge coefficient is more than a sliding gate discharge coefficient [2].

Along with the vertical movement of cylindrical weir-gate, three different flows of over flow on weir, combined flow thought the weir-gate and under flow the gate can be observed. As a result, discharge coefficient of combined flow and the energy loss will also change. This structure can be used for precise control and measurement of passing flow in the low and high water levels for instant during the drought or flood conditions, therefore, in present research, an experimental study on the effect of vertical movement of cylindrical weir-gate on flow hydraulics was performed.

2. Methodology

2.1. Experimental setup

The experiments were conducted in a rectangular and adjustable flume with the length of 7.5 m, width of 40 cm and height of 46 cm, in transparent glassy walls with 1 cm thickness to see the flow direction from both sides and with constant slope 0.0001, in Ostfalia (Ostfalia University of Applied Sciences, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Suderburg, Germany) University hydraulic lab. The PVC pipes were used as cylindrical device. Four diameters of 50, 75, 110 and 125 mm were examined. The ratio of the studied diameters to the width of flume varied within a range of $0.1 < (D/B) < 0.4$. Various gate opening heights from $a = 0$ mm to 60 mm in increments of 10 mm were investigated. Investigated discharge rates covers a range of 12 to 22 lit/s. Runs were carried out on flow conditions of $0.1 < Fr_{up} < 0.6$, $30000 < Re_{up} < 62000$ and $8 < We_{up} < 21$. The discharge was measured by a magnetic flowmeter, with accuracy of ± 0.1 lit/s, and the water surface level was recorded using a limnimeter with ± 0.1 mm accuracy. Fig. 1 shows a definition sketch for the studied combined over-under flow, through a cylindrical weir-gate device.

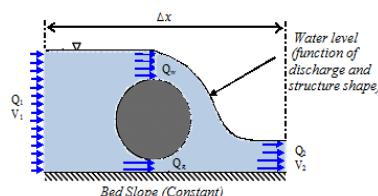


Fig. 1. Schematic diagram of combined over-under flows through a cylindrical weir-gate

* Corresponding Author

E-mail addresses: armaghan.severi@gmail.com (Armaghan Severi), masoudian@sanru.ac.ir (Mohsen Masoudian), esmaeilkordi@gmail.com (Esmaeil Kordi), K.roettcher@ostfalia.de (Klaus Roettcher).

2.2. Dimensional analysis

For a cylindrical weir-gate structure, installed into a smooth rectangular open channel, with width B , gate opening height a and over-flow head H_w with the following functional relation (Eq. 1) can makes a linkage among the effective-relevant variables:

$$f_0(Q_s, C_{ds}, V_a, V_w, V_g, a, B, S_0, y_{up}, y_d, H_w, H_{up}, H_d, D, \rho, \mu, \sigma, \delta, g) = 0 \quad (1)$$

in which f : functional symbol, C_{ds} : discharge coefficient, V_a : upstream velocity (m/s), V_w : velocity on the weir (m/s), V_g : velocity below the gate (m/s), y_{up} : upstream flow depth (m), y_d : downstream flow depth (m), H_w : head of water over the weir (m), D : cylinder diameter (m), a : the gate opening height (m), H_{up} : upstream energy amount (m), H_d : downstream energy head (m), g : acceleration of gravity (m/s^2), σ : surface tension (N/m), δ : amount of contraction (m), μ : dynamic viscosity of the fluid ($N.s/m^2$), ρ : fluid density (Kg/m^3) and S_0 : bed slope. According to the Phi theorem, a dimensionless functional relation can be acquired using the ρ , g , and D as dimensional independent variables. The effects of δ (there is no contraction), S_0 (constant) and B (constant) were ignored. Rearranging the dimensionless deduced groups, results in Eq. (2) for obtaining a dimensionless functional relation for C_{ds} :

$$C_{ds} = f_1((Q_s/g^{0.5}y_{up}^{2.5})(y_{up}/D), (y_{up}/y_d), (H_w/y_{up}), (a/y_{up}), (a/\Delta H_1), Fr_{up}) \quad (2)$$

3. Results and discussion

3.1. Variation of C_{ds} against dimensionless parameters

Fig. 2 illustrates the variations of discharge coefficient (C_{ds}) against the dimensionless parameters of y_{up}/D , H_w/y_{up} and a/y_{up} , respectively. In a constant discharge rate, the C_{ds} decreased as the gate opening height increased. So that by vertical movement of cylindrical weir-gate, the maximum discharge coefficient amount were observed in cylindrical weir with range of $1.2 < C_{dw} < 1.41$ and the minimum discharge coefficient amount were observed in cylindrical gate with range of $0.4 < C_{dg} < 0.92$. It also has been observed that the combined cylindrical weir-gate structure discharge coefficient is variable in the range of $0.6 < C_{ds} < 1.2$. Furthermore, it is observable that there is a positive correlations between discharge coefficient and the dimensionless parameters of y_{up}/D and H_w/y_{up} (Fig. 2a and b). It is also mentionable that there is a negative correlation between discharge coefficient and the dimensionless parameter of a/y_{up} (Fig. 2c). Furthermore, in constant discharge and gate opening amount, increasing in amount of cylinder diameter leads to the discharge coefficient amount decrease.

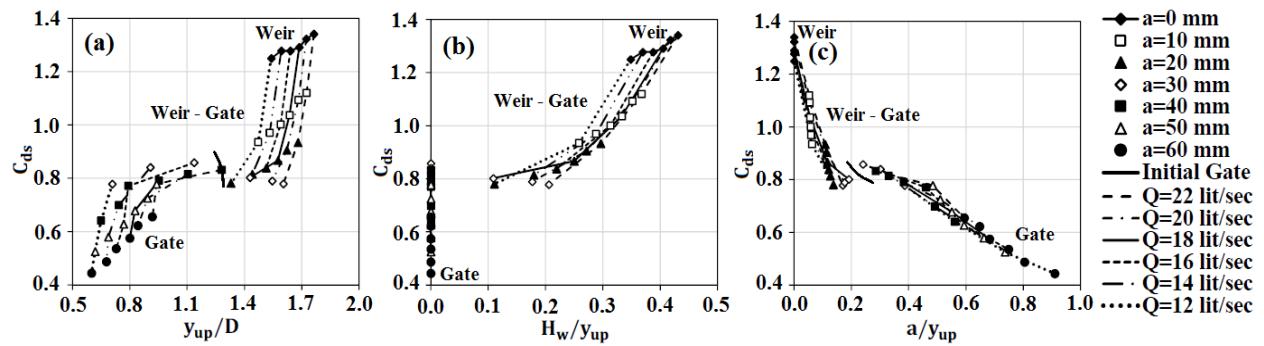
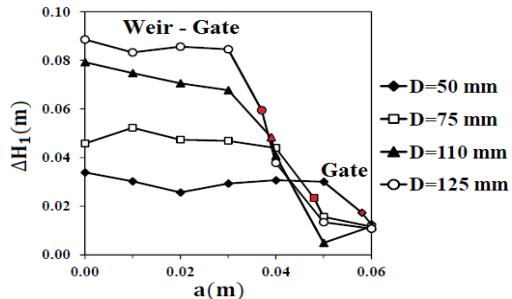
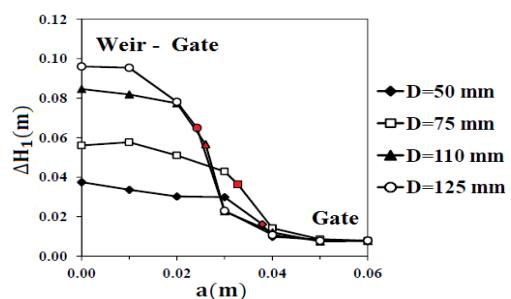


Fig. 2. Variation of the discharge coefficient versus (a) y_{up}/D , (b) H_w/y_{up} , (c) a/y_{up} for $D=110$ mm

3.2. Variation of the energy loss against the gate opening height

The figures (3) and (4) exhibit the variation of the energy loss amount (ΔH_l) versus the gate opening height for different investigated cylinder diameters and discharge rates. According to the results, ΔH_l significantly decrease with increasing the gate opening height for combined free flow. So that, the highest amount of energy loss were observed in cylindrical weir with range of $0.03 < \Delta H_l < 0.1$ meter and the lowest amount of energy loss were observed in cylindrical gate with range of $0.004 < \Delta H_l < 0.062$ meter, also has been observed that the combined cylindrical weir-gate structure energy loss amount is variable in the range of $0.025 < \Delta H_l < 0.1$ meter. Furthermore, in constant discharge and gate opening amount, increasing in amount of cylinder diameter leads to the energy loss amount increase.

**Fig. 3.** Energy loss versus opening height for $Q= 22$ lit/sec**Fig. 4.** Energy loss versus opening height for $Q= 14$ lit/sec

3.3. Proposed best correlated relations for prediction of C_d

By using the SPSS constructed experimental equation for predicting the amount of discharge coefficient for cylindrical weir, weir-gate and gate. The following equation (Eq. 3) fits the data with coefficient of determination, $R^2= 0.941$ and standard error of estimate, $SEE= 0.013$ to estimate the discharge coefficient over the cylindrical weir to $\pm 2\%$ within the following limitations: $1.47 < y_{up}/D < 2.64$, $0.32 < H_w/y_{up} < 0.62$, $0.12 < Fr_{up} < 0.37$.

$$C_{dw} = 2.218 (y_{up} / D)^{-0.256} (H_w / y_{up})^{0.438} \quad (3)$$

For combined flow, experimental data can be described as the following best correlated equation (Eq. 4). The following equation fits the data with coefficient of determination, $R^2= 0.965$ and standard error of estimate, $SEE= 0.026$ to estimate the discharge coefficient through the combined cylindrical weir-gate to $\pm 10\%$ within the following limitations: $1.32 < y_{up}/D < 2.56$, $0.14 < H_w/D < 1.37$, $2.32 < y_{up}/a < 25$, $0.13 < Fr_{up} < 0.41$.

$$C_{ds} = 0.648 (a / y_{up})^{-0.211} (H_w / D)^{0.176} \quad (4)$$

For under flow, experimental data can be described as the following best correlated equation (Eq. 5). The following equation fits the data with coefficient of determination, $R^2= 0.931$ And standard error of estimate, $SEE= 0.026$ to estimate the discharge coefficient through the cylindrical gate to $\pm 10\%$ within the following limitations:

$$0.54 < y_{up}/D < 2.1, 0.16 < a/D < 1.2, 1.08 < y_{up}/a < 7.15, 0.18 < Fr_{up} < 0.58.$$

$$C_{dg} = 0.464 (y_{up} / D)^{0.006} (y_{up} / a)^{0.563} \quad (5)$$

4. Conclusions

From the present research it can be concluded that:

1. The discharge coefficient changes has inverse trend with $Q/(g^{0.5} y_{up}^{2.5})$, a/y_{up} , Fr_{up} and $a/\Delta H_1$.
2. The discharge coefficient variation shows a direct relation with respect to y_{up}/D , y_{up}/y_d and H_w/y_{up} .
3. A inverse mode was observed between the gate opening height changes and discharge coefficient, as well as the maximum and minimum discharge coefficient were found in cylindrical weir and cylindrical gate conditions, respectively.
4. The cylinder diameter exhibits inverse behavior against the discharge coefficient.
5. The gate opening height change has inverse relation with increasing the energy loss, so that the maximum and minimum energy loss amounts were observed in cylindrical weir and cylindrical gate, respectively.
6. The cylinder diameter reveals a direct relation with energy loss variation.
7. The proposed empirical equations exhibited a good agreement with the experimental data.

5. References

- [1] Masoudian, M., Gharahgezou, M., "Flow Characteristics of Cylindrical Weirs in a Small Laboratory Canal", Journal of Science Series Data Report, 2012, 4 (4), 12-23.
- [2] Masoudian, M., Gharahgezou, M., Haber, B., "The Impact of Hydraulic and Geometric Parameters on the Cylindrical Gate Discharge Coefficient", Journal of Innova Science, 2012, 4 (7), 61-72.