

بررسی ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از سرریز و سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای

فروغ علی زاده صنمی^۱، مجتبی صانعی*^۲، محسن مسعودیان^۱

^۱ گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی ساری

^۲ گروه مهندسی رودخانه، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخچه داوری:

دریافت: ۳۰ مهر ۱۳۹۳
بازنگری: ۱۶ شهریور ۱۳۹۴
پذیرش: ۲۷ اردیبهشت ۱۳۹۵
ارائه آنلاین: ۱۶ شهریور ۱۳۹۶

کلمات کلیدی:

ضریب دبی
افت انرژی
سازه نیم‌استوانه
سرریز-دریچه

چکیده: پژوهش حاضر به بررسی ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای متمرکز شده است. آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی مستطیلی به طول ۸، عرض ۰/۲۸۲ و عمق ۰/۳ متر بر بستر صاف در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، با استفاده از مدل‌های فیزیکی با قطرهای ۷۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر در ارتفاع بازشدگی‌های مختلف بین صفر تا شعاع سازه و در دبی‌های متفاوت انجام شده‌اند. نسبت ارتفاع سازه به عرض کانال محدوده $0/25 < D/B < 0/57$ را پوشش داده است و جریان ورودی محدوده $0/12 < F_r < 0/55$ را در بر گرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهند در تمام زوایای قرارگیری سازه ضریب دبی و پارامتر بی بعد H_p/H (نسبت افت انرژی به عمق آب بالادست) در هر دو حالت انحنا رو به بالادست و انحنا رو به پایین دست به ترتیب با افزایش پارامتر بی بعد H/P (نسبت عمق بالادست به تصویر سازه) افزایش و کاهش می‌یابند. در یک H/P ثابت، پارامتر بی بعد H_p/H و ضریب دبی در حالتی که انحنا سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای به سمت بالادست می‌باشد به علت جمع شدگی تدریجی خطوط جریان، ضریب دبی بیشتر و افت ورودی کمتری نسبت به حالتی که انحنا سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای به سمت پایین دست است، دارا می‌باشند.

۱- مقدمه

داده و موجب افزایش ضریب دبی می‌گردد. با ترکیب سرریز و دریچه به عنوان یک سازه هیدرولیکی جدید می‌توان بعضی از محدودیت‌های استفاده جداگانه سرریز و دریچه را برطرف و از مزایای آن‌ها استفاده نمود. به طوری که در این مدل مواد قابل ته‌نشین شدن به راحتی از قسمت دریچه خارج و مواد معلق به شکل بهتری از روی سرریز تخلیه می‌شوند. یکی از انواع سازه ترکیبی سرریز-دریچه، نوع استوانه‌ای آن است که با توجه به انحنای آن و تطبیق با خطوط جریان می‌توان گفت که ضریب دبی در این مدل، بیشتر از ضریب دبی سرریز-دریچه‌ی لبه‌تیز می‌باشد.

مزلر^۱ (۱۹۴۸) ضریب دبی دریچه قوسی را به نسبت عمق آب بالادست دریچه (H)، به فاصله محور دریچه تا کف کانال (p/2) ربط داد و برای مقادیر مختلف بازشدگی و شعاع دریچه نمودارهای متعددی که شبیه به خطوط هم‌تراز هستند را ارائه کرد [۱]. چانسون و مونتس^۲ (۱۹۹۸) جریان بر سرریزهای استوانه‌ای روی پایه را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای عموماً بزرگتر از سرریزهای لبه‌پهن مستطیلی است [۲]. نجم و همکاران (۲۰۰۲) معادلاتی برای جریان ترکیبی در حالت آزاد برای سرریز-دریچه مستطیلی با فشرده‌گی برابر ارائه نموده و به این نتیجه رسیدند که ضریب دبی جریان با پارامترهای

سازه‌های کنترل و اندازه‌گیری جریان از اجزای مهم در شبکه‌های آبیاری و زهکشی محسوب می‌شوند. اندازه‌گیری حجم آب مورد نیاز برای مصارف کشاورزی در هر پروژه آبیاری لازم و ضروری است لذا روش‌های بسیاری برای اندازه‌گیری دبی آب در کانال‌های باز وجود دارد. سرریزها و دریچه‌ها از جمله سازه‌های کنترل‌کننده جریان هستند که به طور عمده به علت داشتن روابط ساده و نسبتاً دقیق در اندازه‌گیری جریان و کنترل سطح آب کاربرد بیشتری دارند و در شکل‌ها و با نحوه عملکردهای متفاوتی در محل‌های مانند روی تاج سرریزهای اوجی و خروج آب از دریاچه به رودخانه و کانال مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر نوع سرریز و دریچه امتیازات و نقایص مربوط به خود را داشته و با توجه به موقعیت، کاربرد و خصوصیات استفاده از آن، می‌توان یکی از انواع آن را انتخاب نمود. همواره آب جاری شده در مسیر کانال‌ها دارای ذرات معلق رسوب و مواد شناور بوده که در پشت سرریز و ورودی دریچه تجمع پیدا می‌نمایند و این امر علاوه بر کاهش حجم کانال در محدوده سازه سبب مشکلاتی از جمله آبیگری زمین‌های اطراف به علت سرریز شدن آب از جناحین کانال، به خطر افتادن پایداری سازه و کاهش دقت اندازه‌گیری جریان می‌شود. همچنین تاثیر ارتفاع سرریز را نیز کاهش

1 Metzler
2 Chanson and Montes

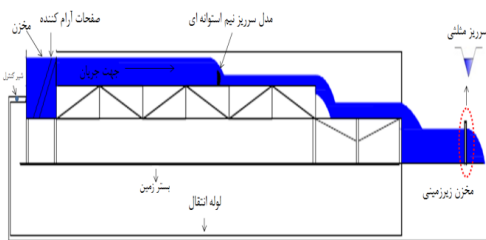
*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: saneie_m@scwmri.ac.ir

انرژی در دریاچه استوانه‌ای مشاهده شده است [۸]. عابری فروتن و ایوب‌زاده (۱۳۸۳) تاثیر بار معلق بر ضریب دبی جریان در سرریزها و دریاچه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که ضریب دبی در شرایط جریان رسوبی، تحت بار آبی یکسان، نسبت به جریان آب صاف در دریاچه‌ها کم‌تر و در سرریزها بیش‌تر است [۹].

انحنای سازه نیم‌استوانه‌ای به دلیل ایجاد انحنا در خطوط جریان تأثیر بسزایی در کاهش افت و افزایش ضریب دبی نسبت به دیگر انواع سرریزها، دریاچه‌ها و سرریز-دریاچه‌ها دارند و نحوه قرار گرفتن این انحنا می‌تواند سبب افزایش یا کاهش این اثر گردد. از آنجایی که جریان عبوری از سرریز، دریاچه و سرریز-دریاچه مورد مطالعه فراوان قرار گرفته اما سازه مورد آزمایش این پژوهش دارای بازشدگی متغیری با اندازه صفر تا شعاع سازه می‌باشد. همچنین سازه نیم‌استوانه‌ای پژوهش حاضر در حالتی که محور چرخش منطبق بر مرکز نیم‌استوانه است دوران می‌کند، در این حالت از نظر هیدرولیکی سازه بصورت سرریز و سرریز-دریاچه عمل می‌نماید به طوری که در حالت سرریز جریان از رو و در حالت سرریز-دریاچه بخشی از جریان از رو و بخشی دیگر همواره از زیر آن عبور می‌کند.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها روی مدل نیم‌استوانه‌ای در دو حالت انحنا رو به بالادست و انحنا رو به پایین‌دست برای زوایای صفر تا ۱۸۰ نسبت به محور افقی (به طوری که با چرخش حول محور مرکزی از زاویه صفر تا ۶۰ درجه به صورت سرریز-دریاچه و از زاویه ۹۰ تا ۱۸۰ درجه به صورت سرریز عمل می‌نماید) و بازشدگی متغیر از بازه صفر تا شعاع سازه، در فلومی با مقطع عرضی مستطیلی و افقی به طول ۸ متر، عرض ۰/۲۸۲ متر و ارتفاع ۰/۳ متر بر بستر صاف و صلب واقع در آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام گرفت. جریان آب در یک سیکل بسته که شامل اجزای نشان داده شده در شکل ۱ می‌باشد، جاری گردید.



شکل ۱: شمای توصیفی فلوم آزمایشگاه پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

Fig. 1. A plan of flume (SCWMRI)

از لوله‌های پی. وی. سی جهت ساخت مدل‌های فیزیکی سازه ترکیبی سرریز-دریاچه نیم‌استوانه‌ای استفاده شد. آزمایش‌ها برای سه قطر ۷۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر، در دمای معمولی آزمایشگاه انجام شده است. نسبت ارتفاع سازه به عرض کانال محدوده $0/۵۷ < D/B < 0/۲۵$ را پوشش داده است.

H/d (بازشدگی دریاچه و H هد کل بالادست) و h/b (هد روی سازه b عرض سرریز و دریاچه) رابطه مستقیم داشته و با پارامتر y/d (فاصله سرریز از دریاچه) رابطه عکس دارد. آن‌ها همچنین اثرات کشش سطحی و لزجت را مورد بررسی قرار دادند [۳]. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی به بررسی خصوصیات جریان ترکیبی از سرریز-دریاچه نیم‌استوانه‌ای با انحنا در بالادست در زوایای مختلف قرارگیری (صفر تا ۱۸۰ درجه نسبت به افق) پرداختند؛ نتایج آزمایشات آن‌ها نشان داد که برای تمام زوایا با افزایش پارامتر بی بعد H/P (عمق آب بالادست به قطر سازه) و H/a (نسبت عمق آب بالادست به بازشدگی دریاچه)، ضریب دبی افزایش می‌یابد؛ به طوری که برای تمام قطرهای مورد آزمایش در یک H/a ثابت، ضریب دبی زوایای محدوده ۱۲۰ تا ۱۸۰ درجه به علت تأثیر انحنا منقطع ورودی دریاچه، بیشتر از ضریب دبی زوایای صفر تا ۹۰ درجه می‌باشد. از دیگر نتایج این پژوهش می‌توان به تأثیر قطر سازه بر ضریب دبی در تمام زوایای مورد آزمایش اشاره نمود [۴]. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۱) در مورد اثر زاویه قرارگیری سازه ترکیبی سرریز-دریاچه نیم‌استوانه‌ای بر میزان افت انرژی جریان در کانال‌های کوچک پرداختند. بررسی آنان نشان داد کمترین افت انرژی جریان به ترتیب در زوایای ۰، ۱۸۰ درجه ایجاد می‌گردد که این کمینه بودن افت به دلیل وجود انحنا در بالادست و در پایین‌دست می‌باشد همچنین کمتر بودن افت انرژی زاویه صفر درجه نسبت به ۱۸۰ درجه نشان دهنده این امر می‌باشد که افت سرریز بیشتر از دریاچه است [۵]. مسعودیان و قره‌گزلو (۲۰۱۲) در پژوهشی به بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هندسی و هیدرولیکی موثر بر ضریب دبی سرریز استوانه‌ای در کانال آزمایشگاهی کوچک پرداختند و نتیجه گرفتند که ضریب دبی عبوری از سرریز استوانه‌ای با افزایش پارامترهای بدون بعد Hw/R (نسبت هد آب روی سرریز به شعاع سرریز)، Hw/H (نسبت هد آب روی سرریز به عمق بالادست)، Re (عدد رینولدز) و We (عدد وبر) افزایش می‌یابد [۶]. قره‌گزلو و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز-دریاچه استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای در کانال‌ها کوچک پرداختند؛ نتایج پژوهش آنان نشان داد در هر سه حالت با افزایش مقادیر بی بعد نسبت عمق بالادست جریان به میزان بازشدگی دریاچه H/a و نسبت عمق بالادست جریان به قطر استوانه H/D ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین در یک H/D ثابت، ضریب دبی استوانه کامل تقریباً برابر با ضریب دبی نیم‌استوانه با انحنا در بالادست و حدود ۱۲ درصد بیشتر از ضریب دبی نیم‌استوانه با انحنا در پایین‌دست است و برای هر سه حالت در محدوده آزمایش‌ها ضریب دبی بین ۹۶-۳۸ درصد متغیر است [۷]. سوری و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی آزمایشگاهی تغییرات ضریب دبی و افت انرژی در سرریز-دریاچه استوانه‌ای با حرکت قائم پرداختند؛ نتایج پژوهش‌های آنان نشان داد که تغییرات ارتفاع بازشدگی دریاچه با تغییرات ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از سازه رابطه عکس دارد، به گونه‌ای که با جابه‌جایی سازه استوانه‌ای، بیشترین ضریب دبی و افت انرژی در سرریز استوانه‌ای و کمترین ضریب دبی و افت

که در آن، Q_g : دبی عبوری از زیر دریچه، C_{dg} : ضریب دبی دریچه،
میزان بازشدگی دریچه، b : عرض کانال، h : عمق جریان در بالادست دریچه
و g : شتاب ثقل است.

بوس^۲ (۱۹۷۶) فرمول دبی در سرریزهای استوانه‌ای را به صورت زیر
پیشنهاد نمود [۱۱]:

$$Q_w = C_{dw} b \sqrt[2/3]{(2/3 g) H_w^{1.5}} \quad (2)$$

که در آن، Q_w : دبی عبوری از سرریز استوانه‌ای، H_w : ارتفاع آب روی
سرریز و C_{dw} : ضریب دبی سرریز است.

با ترکیب رابطه‌های ۱ و ۲، ضریب دبی سازه ترکیبی از رابطه ۳ به
دست می‌آید:

$$C_d = Q_s / (ab \sqrt{2gH} + b \sqrt[2/3]{(2/3 g) H_w^{1.5}}) \quad (3)$$

که در آن، Q_s : دبی عبوری از سازه ترکیبی که به وسیله سرریز مثلی
اندازه‌گیری شده و مخرج کسر دبی در حالت ایده‌آل می‌باشد که با اندازه‌گیری
پارامترهای آن تعیین می‌گردد و C_d : ضریب دبی سازه ترکیبی است.

برآورد افت انرژی جریان عبوری از سرریز-دریچه: مقدار انرژی موجود
در هر مقطع از جریان از یک کانال باز را می‌توان به صورت رابطه ۴ بیان
نمود:

$$E = y + V^2/2g + Z \quad (4)$$

با استفاده از رابطه ۴ معادله انرژی بین دو مقطع به صورت زیر نوشته
می‌شود.

$$H_1 + (\alpha V_1^2)/2g = H_2 + (\alpha V_2^2)/2g + \Delta Z + h_f \quad (5)$$

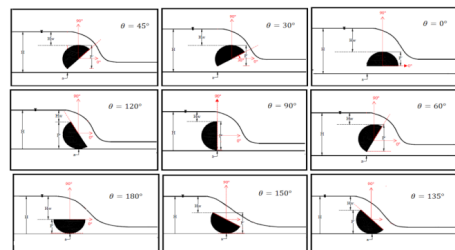
در رابطه فوق H_1 : عمق آب در مقطع ۱ (متر)، V_1 : سرعت آب در مقطع
۱ (متر بر ثانیه)، H_2 : عمق آب در مقطع ۲ (متر)، V_2 : سرعت آب در مقطع
۲ (متر بر ثانیه)، ΔZ : اختلاف ارتفاع بین مقطع ۱ و ۲ و در نهایت h_f : افت
انرژی بین مقطع ۱ و ۲ است. در تحقیق حاضر با توجه به افقی بودن کانال
آزمایشگاهی ΔZ برابر صفر است و α : ضریب تصحیح انرژی که در مقاطع
مورد نظر برابر یک در نظر گرفته شده است.

۴- آنالیز ابعادی

براساس خصوصیات هندسی، سینماتیکی و دینامیکی جریان، عوامل
موثر در دبی جریان را می‌توان طبق رابطه ۶ نوشت.

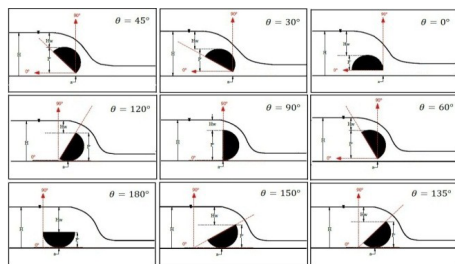
$$f_0 (H, H_w, P, V, \delta, g, \sigma, \mu, \rho, S_0, B, a, \theta, D, C_d, H_d) = 0 \quad (6)$$

آزمایش‌ها در شرایط جریان آزاد انجام شده و جریان ورودی محدوده اعداد
فرود $0.55 < Fr < 0.12$ و عدد رینولدز $25000 < Re < 50000$ را در
برگرفته است. به عبارت دیگر، جریان ورودی زیربحرانی و آشفته بوده است.
محدوده دبی مورد مطالعه ۲۷ - ۲ لیتر بر ثانیه بوده و دبی ورودی به فلوم
به وسیله یک سرریز مثلی ۹۰ درجه واسنجی شده اندازه‌گیری شد. جهت
کاهش تلاطم، جریان ورودی به کانال از صفحات آرام‌کننده و توری مشبک
استفاده و سازه در اواسط کانال نصب گردید. سیستم هیدرولیکی مورد مطالعه
یک جریان دائمی-متغیر سریع می‌باشد. آزمایش‌های مربوط به هر قطر
حداقل در ۶ دبی صورت گرفته و در هر دبی ارتفاع آب روی سرریز مثلی
جهت اندازه‌گیری دبی ورودی، عمق آب در بالادست سازه (در فاصله‌ای
حدود ۳ تا ۵ برابر ارتفاع آب روی سرریز از تاج سرریز، جهت ثابت شدن
سطح آب در کانال (فرنچ^۱، ۱۹۸۷، [۱۰]) و عمق پایاب توسط عمق‌سنج با
دقت ± 0.1 میلی‌متر برداشت شد. شکل‌های ۲ و ۳، شمای توصیفی مدل
نیم‌استوانه‌ای را نمایش می‌دهد.



شکل ۲: شمای مدل نیم‌استوانه‌ای در حالت انحنا به سمت
بالادست در زوایای مختلف قرارگیری نسبت به افق

Fig. 2. A plan Semi-cylinder model in upstream
curve Different angles



شکل ۳: شمای مدل نیم‌استوانه‌ای در حالت انحنا به سمت
پایین دست در زوایای مختلف قرارگیری نسبت به افق

Fig. 3. A plan Semi-cylinder model in downstream
curve Different angles

۳- اصول و روابط مورد استفاده در محاسبات

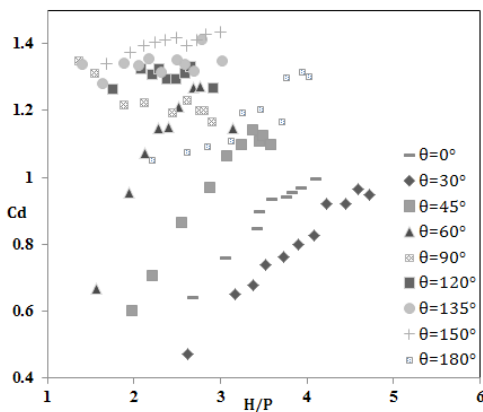
رابطه ۱ شکل عمومی برآورد دبی عبوری از دریچه را نشان می‌دهد
(حسینی و ابریشمی، ۱۳۸۶، [۱۰]):

$$Q_g = C_{dg} ab \sqrt{2gH} \quad (1)$$

۵- نتایج و بحث

با بررسی و پایش داده‌ها، و با استفاده از معادله‌های ۳ و ۵، تغییرات ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از سازه سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای ترسیم گردید.

شکل‌های ۴ الی ۹ تغییرات ضریب دبی در مقابل پارامتر بی بعد نسبت عمق بالادست به تصویر سازه (H/P) در زوایای مختلف قرارگیری برای قطرهای ۷۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر در حالت‌های انحنا به سمت بالادست و انحنا به سمت پایین دست را نشان می‌دهند. نتایج نشان می‌دهد با افزایش (H/P) ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌شود میزان ضریب دبی در حالتی که سازه به صورت سرریز است بیشتر از حالتی است که سازه به صورت سرریز-دریچه می‌باشد. با توجه به شکل ۲ هنگامی که زاویه وجه تخت نیم‌استوانه نسبت به افق در محدوده صفر تا ۶۰ درجه (حالت سرریز-دریچه) قرار می‌گیرد، انحنای نیم‌استوانه‌ای سبب هدایت تدریجی خطوط جریان بسمت سرریز و دریچه و کاهش شیب خطوط در مقطع ورودی و در نتیجه کاهش مقاومت در برابر جریان و افت ورودی می‌گردد، بیشتر بر دبی عبوری از سرریز تأثیر می‌گذارد، و تأثیر کمتری بر دبی عبوری از دریچه داشته و بیانگر این است که احتمالاً در این سازه افت ورودی دریچه نسبت به سرریز بیشتر بوده که انحنای نیم‌استوانه باعث کاهش افت ورودی و در نتیجه افزایش ضریب دبی گردیده است. نکته قابل مشاهده دیگر، فاصله بین ضریب دبی حالت سرریز و سرریز-دریچه می‌باشد که به علت جابجایی اثر انحنای نیم‌استوانه از حالت سرریز-دریچه به حالت سرریز است. همچنین مشاهده می‌گردد بیشترین ضریب دبی در زوایای ۱۲۰ و ۱۳۵ درجه در حالت انحنا به سمت بالادست و زوایای ۱۵۰ و ۱۳۵ درجه در حالت انحنا به سمت پایین دست و کمترین ضریب دبی مربوط به زوایای صفر و ۳۰ درجه در هر دو حالت انحنا می‌باشد.

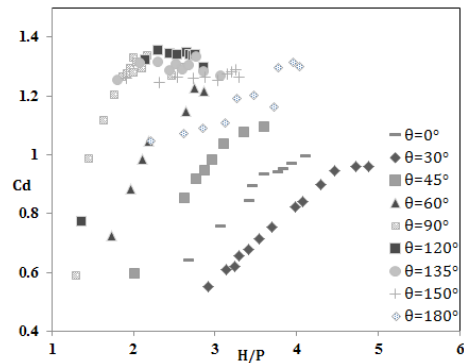


شکل ۶: ضریب دبی در برابر پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۲۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست

Fig. 6. discharge coefficient against H/P dimensionless for different angles and diameter 120 mm, Upstream curve

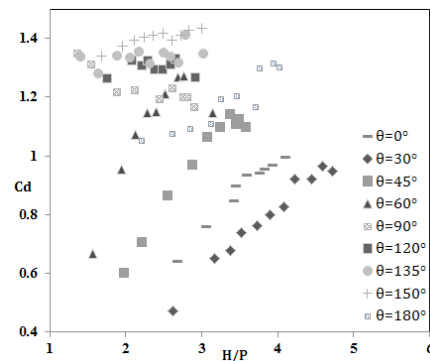
پارامترهای ذکر شده عبارتند از: H: عمق آب در بالادست سازه (H_w); m): هد آب بالای سازه ترکیبی (m); P: طول تصویر سازه (m); V: سرعت جریان در بالادست (m/s); δ : اندازه فشردگی (m); g: شتاب ثقل (m/s^2); σ : کشش سطحی (N/s); μ : لزوجت دینامیکی (Ns/m^3); ρ : جرم مخصوص سیال (Kg/m^3); S_0 : شیب فلوم (m/m); B: عرض فلوم (m); a: میزان بازشدگی دریچه (m); θ : زاویه قرارگیری سازه ترکیبی نسبت به افق (درجه); H_d : عمق پایاب (m); C_d : ضریب دبی، H_f : افت انرژی (m). با استفاده از آنالیز ابعادی و ترکیب گروه‌های بدون بعد رابطه ۷ به دست می‌آید.

$$f_1(Fr, We, Re, \delta/H, B/H, a/H, H/P, H_w/H, C_d, D/H, \theta, H_d/H, S_0, H_f/H) = 0 \quad (7)$$



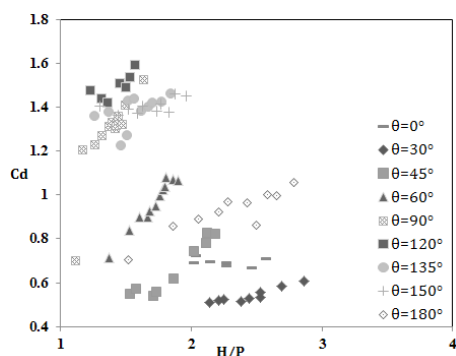
شکل ۴: ضریب دبی در برابر پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۷۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست

Fig. 4. discharge coefficient against H/P dimensionless for different angles and diameter 70 mm, Upstream curve



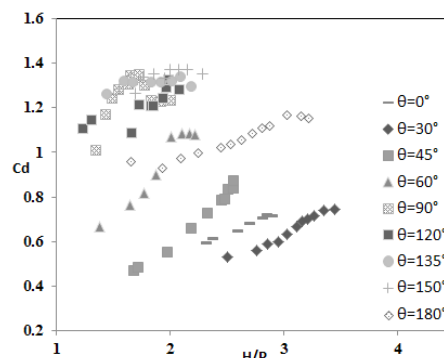
شکل ۵: ضریب دبی در برابر پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۷۰ میلی‌متر، انحنا به سمت پایین دست

Fig. 5. discharge coefficient against H/P dimensionless for different angles and diameter 70 mm, Downstream curve



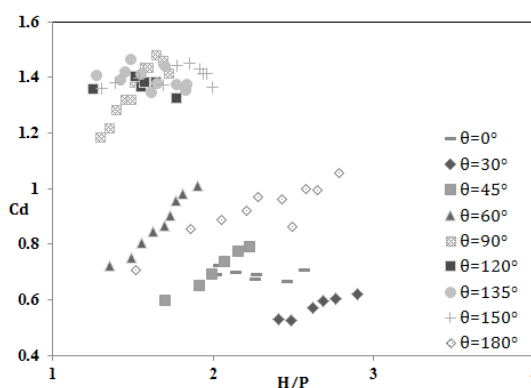
شکل ۸: ضریب دبی در برابر پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۶۰ میلی متر، انحنا به سمت بالادست

Fig. 8. discharge coefficient against H/P dimensionless for different angles and diameter 160 mm, Upstream curve



شکل ۷: ضریب دبی در برابر پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۲۰ میلی متر، انحنا به سمت پایین دست

Fig. 7. discharge coefficient against H/P dimensionless for different angles and diameter 120 mm, Downstream curve

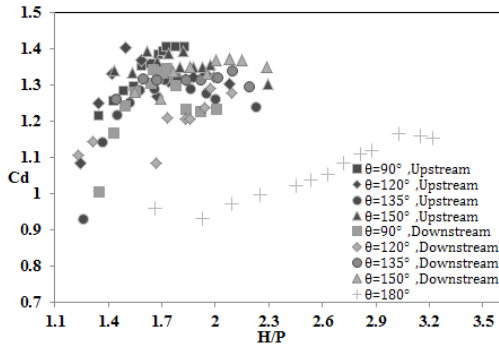


شکل ۹: ضریب دبی در برابر پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۶۰ میلی متر، انحنا به سمت پایین دست

Fig. 9. discharge coefficient against H/P dimensionless for different angles and diameter 160 mm, Downstream curve

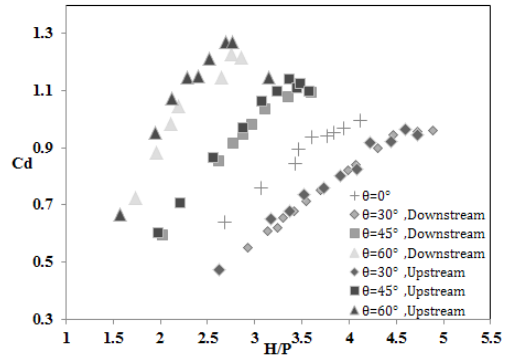
H/P برای زوایای ۹۰ و ۱۳۵ درجه را نشان می دهد، به صورت نمونه انتخاب گردیده؛ نتایج نشان می دهد با افزایش پارامتر بی بعد H/P ضریب دبی افزایش می یابد، به طوری که در یک H/P ثابت در زاویه ۹۰ درجه ضریب دبی در حالت انحنا به سمت بالادست بیشتر از انحنا به سمت پایین دست می باشد در حالی که در زاویه ۱۳۵ درجه عکس این مطلب مشاهده می گردد؛ می توان اینگونه استنتاج کرد که در زاویه ۱۳۵ درجه، موقعیت قرارگیری سازه به گونه ای می باشد که وجه تخت سازه شبیه سرریز لبه تیز عمل نموده و سبب افزایش ضریب دبی در این حالت می گردد، که این موضوع بیانگر آن است که در سازه نیم استوانه ای علاوه بر موقعیت انحنا سازه، زاویه قرارگیری وجه تخت سازه نسبت به افق بر میزان افت انرژی موثر می باشد.

شکل های ۱۰ و ۱۱ که به صورت نمونه انتخاب گردیده است، تغییرات ضریب دبی در مقابل H/P (نسبت عمق آب بالادست به تصویر سازه) را با تفکیک حالت سرریز-دریچه و سرریز، برای قطر ۱۲۰ میلی متر نشان می دهد. همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می شود با افزایش ضریب دبی، پارامتر بی بعد H/P افزایش می یابد، به طوری که در یک H/P ثابت در هر دو حالت انحنا، زاویه ۶۰ درجه بیشترین ضریب دبی و زاویه ۳۰ درجه کمترین ضریب دبی را دارا می باشد. همانطور که مشاهده می شود ضریب دبی در حالتی که انحنا سازه به سمت بالادست است بیشتر از حالتی است که انحنا سازه به سمت پایین دست می باشد. شکل ۱۱ را به علت نزدیک بودن ضریب دبی زوایای مورد بررسی در هر دو حالت نمی توان به طور صحیح تحلیل نمود؛ لذا شکل ۲ که ضریب دبی در مقابل پارامتر بی بعد



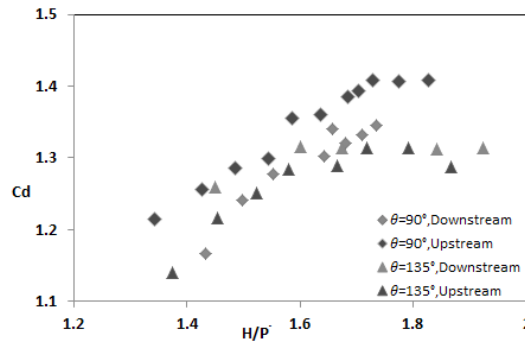
شکل ۱۱: ضریب دبی در مقابل H/P ، حالت سرریز؛ قطر ۱۲۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست و پایین دست

Fig. 11. discharge coefficient against H/P dimensionless, Weir model, diameter 120 mm, Upstream curve and Downstream curve



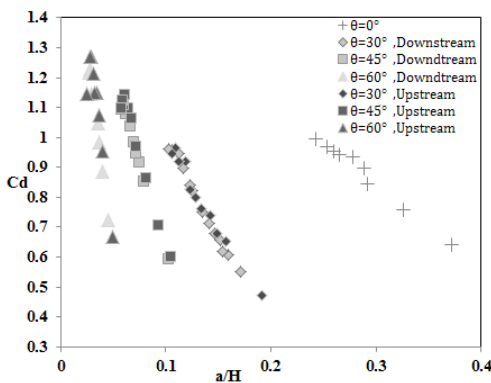
شکل ۱۰: ضریب دبی در مقابل H/P ، حالت سرریز-دریچه؛ قطر ۷۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست و پایین دست

Fig. 10. discharge coefficient against H/P dimensionless, Weir-gate model, diameter 70 mm, Upstream curve and Downstream curve



شکل ۱۲: ضریب دبی در مقابل H/P ، حالت سرریز-دریچه؛ قطر ۱۲۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست و پایین دست

Fig. 12. discharge coefficient against H/P dimensionless, Weir-gate model, diameter 120 mm, Upstream curve and Downstream curve



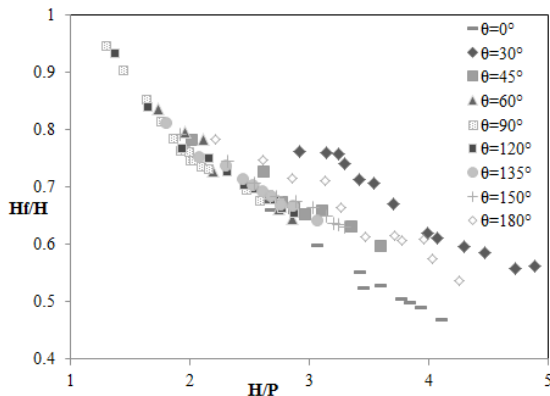
شکل ۱۳: ضریب دبی در مقابل a/H ، حالت سرریز-دریچه؛ قطر ۷۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست و پایین دست

Fig. 13. discharge coefficient against a/H dimensionless, Weir-gate model, diameter 70 mm, Upstream curve and Downstream curve

شکل‌های ۱۳ الی ۱۵ تغییرات ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای (C_d) در برابر نسبت بازشدگی دریچه به عمق آب بالادست سازه ترکیبی (a/H) را برای زوایای صفر، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه نسبت به افق، و برای قطرهای مورد بررسی، نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود با کاهش پارامتری بعد a/H ، ضریب دبی در هر دو حالت انحنای سازه افزایش می‌یابد؛ بطوری که بیشترین و کمترین مقدار ضریب دبی به ترتیب مربوط به زاویه ۶۰ درجه و صفر درجه می‌باشد.

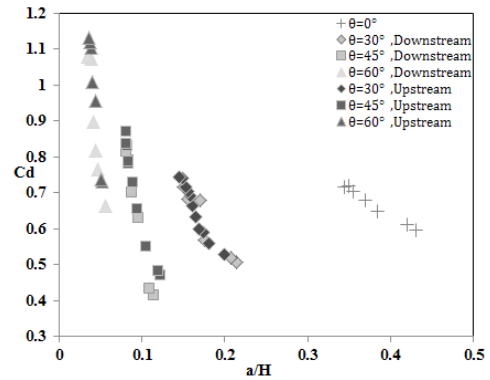
مقایسه‌ی تحقیق حاضر با مطالعات قره‌گزلو و همکاران (۱۳۹۱) که به بررسی ضریب دبی سرریز-دریچه استوانه‌ای و نیم استوانه‌ای در کانال‌های کوچک پرداختند، نشان می‌دهد که اولاً، ضریب دبی سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای در کانال‌های بزرگ بیشتر از کانال‌های کوچک بوده؛ ثانیاً، محدوده‌ی تغییرات ضریب دبی در کانال‌های کوچک نسبت به کانال‌های بزرگ بیشتر می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان در نیمرخ توزیع سرعت لایه‌ی مرزی جستجو کرد. همچنین، مقایسه‌ی تحقیق حاضر با مطالعات ضیایی فر (۱۳۹۲) که به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریز-دریچه نیم استوانه‌ای در زوایای مختلف قرارگیری در جریان آزاد و با بازشدگی ثابت دریچه پرداخته است، نشان می‌دهد که در مدل نیم استوانه‌ای پژوهش حاضر به علت نحوه قرارگیری انحای سازه سرریز-دریچه و بازشدگی متغیر که خود سبب هدایت منظم خطوط جریان روی بدنه سرریز و زیر دریچه می‌گردد، بر افت ورودی تأثیر گذاشته و ضریب دبی افزایش می‌یابد [۴ و ۵].

شکل‌های ۱۶ الی ۲۱ تغییرات پارامتر بی بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی بعد H/P را در زوایای مختلف قرارگیری برای قطرهای ۷۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌متر در حالت انحنا رو به بالادست و انحنا رو به پایین دست نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش پارامتر بی بعد H/P ، پارامتر بی بعد H_f/H به صورت خطی کاهش می‌یابد که این روند در هر سه قطر مشاهده می‌شود؛ همچنین در یک نسبت ثابت H/P ، زاویه ۳۰ درجه بیشترین و زاویه ۱۸۰ درجه کمترین مقدار H_f/H دارا می‌باشند.



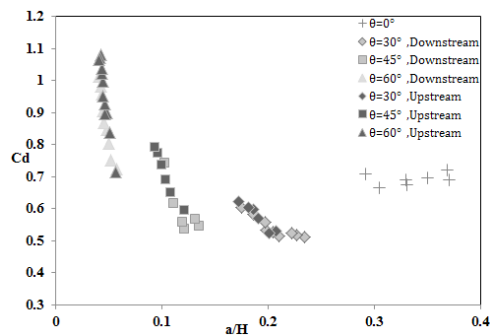
شکل ۱۶: پارامتر بی بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۷۰ میلی‌متر، انحنا رو به بالادست

Fig. 16. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless for different angles and diameter 70 mm, upstream curve



شکل ۱۴: ضریب دبی در مقابل a/H ، حالت سرریز-دریچه؛ قطر ۱۲۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست و پایین دست

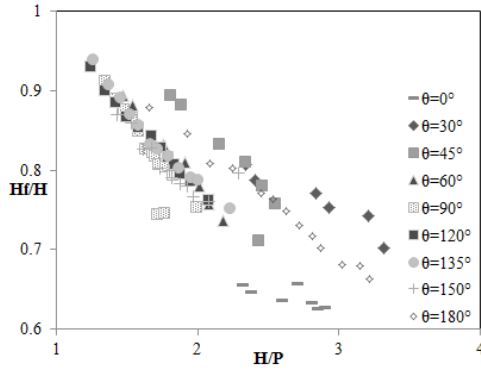
Fig. 14. discharge coefficient against a/H dimensionless, Weir-gate model, diameter 120 mm, Upstream curve and Downstream curve



شکل ۱۵: ضریب دبی در مقابل a/H ، حالت سرریز-دریچه؛ قطر ۱۶۰ میلی‌متر، انحنا به سمت بالادست و پایین دست

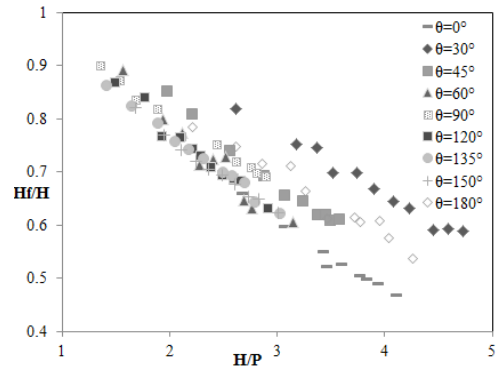
Fig. 15. discharge coefficient against a/H dimensionless, Weir-gate model, diameter 160 mm, Upstream curve and Downstream curve

همانطور که در شکل‌های ۴ الی ۱۵ مشاهده می‌شود با افزایش پارامتر بی بعد H/P و کاهش پارامتر بی بعد a/H ، ضریب دبی افزایش می‌یابد. ضریب دبی در سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای با توجه به نحوه‌ی قرارگیری صفحه تخت مدل نسبت به افق و قطر مدل در محدوده $1/6 - 1/4$ متغیر می‌باشد. مقدار ضریب دبی محاسبه شد در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که ضریب دبی سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای بیشتر از ضریب دبی سایر سازه‌های ترکیبی سرریز-دریچه اشاره شده در بخش مقدمه می‌باشد. که می‌توان این گونه بیان نمود که در سازه‌های نیم استوانه‌ای، به دلیل انحای خطوط جریان، افت ورودی کمتر بوده، و همچنین، به علت چسبیدن جریان به بدنه‌ی سازه، مکش بیشتر شده، و ضریب دبی افزایش می‌یابد.



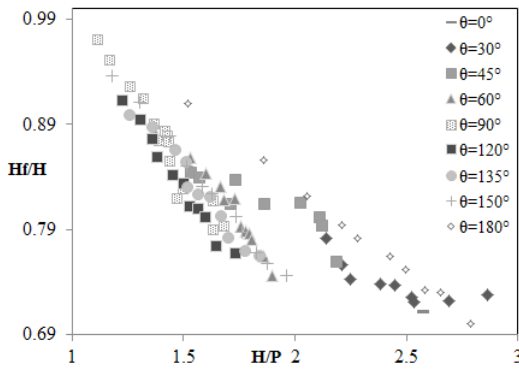
شکل ۱۸: پارامتر بی بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۲۰ میلی متر، انحنا رو به بالادست

Fig. 18. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless for different angles and diameter 120 mm, upstream curve



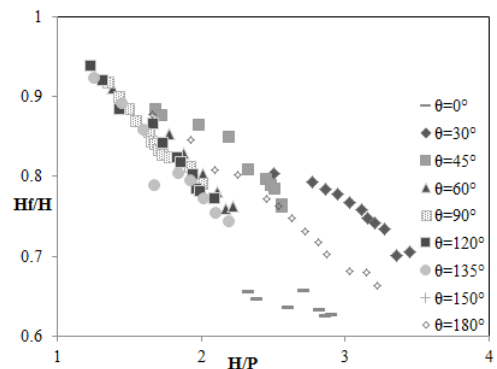
شکل ۱۷: پارامتر بی بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۷۰ میلی متر، انحنا رو به پایین دست

Fig. 17. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless for different angles and diameter 70 mm, Downstream curve



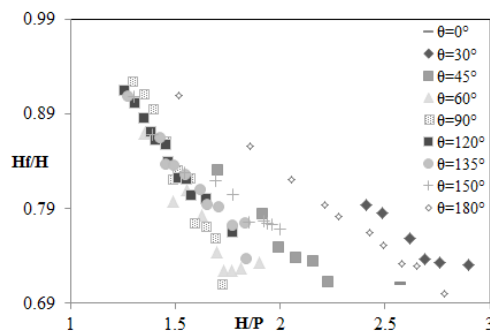
شکل ۲۰: پارامتر بی بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۶۰ میلی متر، انحنا رو به بالادست

Fig. 20. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless for different angles and diameter 160 mm, upstream curve



شکل ۱۹: پارامتر بی بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۲۰ میلی متر، انحنا رو به پایین دست

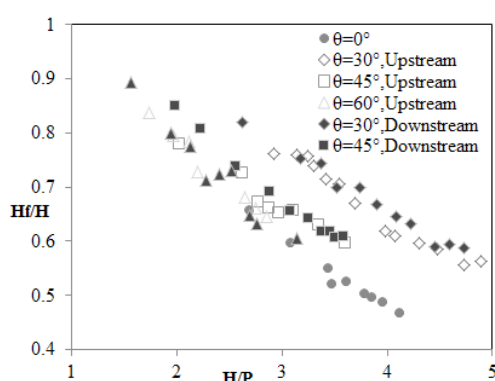
Fig. 19. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless for different angles and diameter 120 mm, Downstream curve



شکل ۲۱: پارامتر بی بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی بعد H/P برای زوایای مختلف و قطر ۱۶۰ میلی متر، انحنا رو به پایین دست

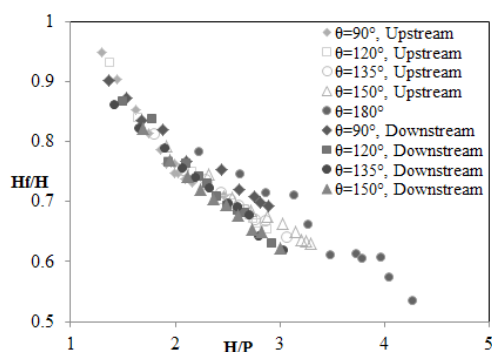
Fig. 21. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless for different angles and diameter 160 mm, Downstream curve

همکاران (۱۳۹۲) بر روی سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای نشان داد ضریب دبی پژوهش آنان به ترتیب در محدوده $0.4 < C_d < 1.4$ ، $0.51 < C_d < 0.68$ ، متغیر است، در حالی که نتایج پژوهش حاضر $0.38 < C_d < 0.96$ نشان می‌دهد در سرریز و سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای ضریب دبی بیشتر و در محدوده $0.42 < C_d < 1.45$ متغیر است؛ که می‌توان این گونه بیان نمود که انحنا ی سازه نیم‌استوانه‌ای سبب انحنا ی جریان و افزایش مکش و بیشتر شدن ضریب دبی می‌گردد. از دیگر نتایج می‌توان به وسیع‌تر بودن محدوده ضریب دبی پژوهش حاضر اشاره نمود، و دلیل این امر را می‌توان در پروفیل توزیع سرعت لایه مرزی جستجو کرد [۷، ۹، ۱۳].



شکل ۲۲: تغییرات H/P در مقابل H_f/H ، حالت سرریز-دریچه، قطر ۷۰ میلی‌متر، انحنا رو به بالادست و پایین‌دست

Fig. 22. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless, Weir-gate model, diameter 70 mm, Upstream curve and Downstream curve



شکل ۲۳: تغییرات H/P در مقابل H_f/H ، حالت سرریز، قطر ۷۰ میلی‌متر، انحنا رو به بالادست و پایین‌دست

Fig. 23. H_f/H dimensionless against H/P dimensionless, Weir model, diameter 70 mm, Upstream curve and Downstream curve

شکل‌های ۲۲ و ۲۳ تغییرات پارامتر بی‌بعد H_f/H در مقابل پارامتر بی‌بعد H/P را با تفکیک حالات سرریز و سرریز-دریچه، برای قطرهای ۷۰ میلی‌متر نشان می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش H/P ، پارامتر بی‌بعد H_f/H کاهش می‌یابد، به طوری که در حالت سرریز زوایای ۳۰ و صفر درجه و در حالت سرریز-دریچه زوایای ۱۸۰ و ۶۰ درجه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین نسبت پارامتر بی‌بعد H_f/H می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شرایط ثابت و کنترل شده برای هر دو حالت انحنا ی سازه، H_f/H در حالتی که انحنا ی سازه به سمت بالادست است کمتر از حالتی است که انحنا ی سازه به سمت پایین‌دست می‌باشد؛ انحنا ی سازه هم در بالادست و هم در پایین‌دست بر میزان افت موثر بوده به طوری که هنگام نزدیک شده جریان به مدل ترکیبی سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای به علت منحنی بودن دیواره بالادست جمع شدن تدریجی خطوط جریان حالت آیرودینامیکی به مقطع جریان داده و در نتیجه مقاومت در برابر جریان و افت ورودی کاهش یافته و همچنین با توجه به این که در پایین‌دست سرریز-دریچه، جریان ریزشی از سرریز با جریان عبوری از دریچه تداخل پیدا نموده و سبب افت انرژی می‌گردد، انحنا ی پایین‌دست سبب چسبیدن جریان به بدنه شده و سبب کمتر شدن افت حاصل از تداخل جریان عبوری از سرریز و دریچه گردیده که در مجموع میزان افت انرژی جریان عبوری به میزان کمتری کاهش می‌یابد.

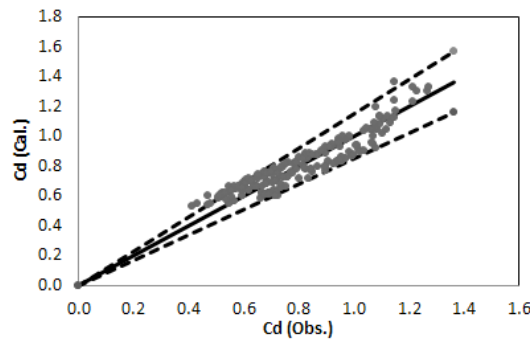
از طریق آنالیز داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Solver Excel، رابطه همبستگی غیر خطی بین ضریب دبی و پارامترهای بدون بعد برای زوایای صفر الی ۶۰ درجه در حالات انحنا به سمت بالادست و پایین‌دست (حالت سرریز دریچه) ارائه گردیده است. این رابطه از طریق بهینه‌سازی روابط بین پارامترهای مستقل (H/a) ، (Fr) و متغیر وابسته ضریب دبی، براساس رگرسیون غیرخطی چندگانه در قالب معادله ۸ به دست آمده است.

$$C_d = 0.772(H/a)^{0.269} Fr^{0.435} R^2 = 0.866 \quad (A)$$

براساس معادله بالا، ضریب دبی سرریز دریچه نیم‌استوانه‌ای با پارامترهای بدون بعد H/a و Fr رابطه مستقیم دارد. همچنین پارامتر Fr نسبت به H/a حساس‌تر می‌باشد که دلیل آن بزرگ‌تر بودن این پارامترها در رابطه ۸ می‌باشد. همچنین با استفاده از تابع خطای استاندارد تخمین مقدار خطای نتایج محاسباتی و اندازه‌گیری شده از معادله ۸ برابر با ۷/۲ درصد می‌باشد.

شکل ۲۴ تغییرات ضریب دبی محاسبه شده از معادله ۸ را در مقابل ضریب دبی به دست آمده از داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همان‌طور که قابل مشاهده است معادله محدوده $\pm 15\%$ را پوشش می‌دهد که به لحاظ مهندسی از دقت خوبی برخوردار می‌باشد.

پژوهش‌های نجم و همکاران (۲۰۰۲) سرریز-دریچه مستطیلی، سوری و همکاران (۱۳۹۳) بر روی سرریز دریچه استوانه‌ای و قره-گزلو و



شکل ۲۴: ضریب دبی مشاهده شده در مقابل ضریب دبی محاسبه شده

Fig. 24. Observational and Computational Discharge Coefficient

جدول ۱: مقایسه‌ی محدوده ضریب دبی پژوهش حاضر با نتایج پژوهش‌های دیگر

Table 1. Comparison of discharge coefficient of this study and the results of other researchers

نتیجه	محدوده آزمایش	موضوع	محقق
محدوده ضریب دبی: $0.51 < C_d < 0.68$	$2/5 < H/a < 7/6$ $0.67 < b/a < 5$ $0.473 < y/a < 4$	بررسی جریان ترکیبی سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی و دریچه مستطیلی با فشردگی جانبی	نجم و همکاران، (۲۰۰۲)
محدوده ضریب دبی: $0.4 < C_d < 1/4$	$0.6 < H/D < 1/75$ $1/1 < H/H_d < 6/5$	بررسی آزمایشگاهی تغییرات ضریب دبی و افت انرژی در سرریز-دریچه استوانه‌ای با حرکت قائم	سوری و همکاران، (۱۳۹۳)
محدوده ضریب دبی: $0.38 < C_d < 0.96$	$2/5 < H/a < 7/6$	بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی مدل ترکیبی سرریز-دریچه استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای در کانال کوچک	همکاران و قره‌گزلو (۱۳۹۲)
محدوده ضریب دبی: $0.42 < C_d < 1/45$	$2/5 < H/P < 7/6$ $2/5 < H_1/H < 7/6$	بررسی ضریب دبی و افت انرژی جریان عبوری از سرریز و سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای	تحقیق حاضر

و زاویه وجه تخت سازه نسبت به افق بر میزان افت انرژی و ضریب دبی موثر بوده و مشاهده شده است که در محدوده زوایای مورد بررسی کمترین و بیشترین میزان افت انرژی به ترتیب در زوایای ۱۸۰ و ۳۰ درجه رخ داده است. همچنین بیشترین ضریب دبی در زوایای ۹۰ و ۱۲۰ درجه و کمترین در زوایای صفر و ۱۸۰ درجه مشاهده شده است. به علاوه نتایج نشان دادند که انحنای رو به بالادست تاثیر بیشتری در میزان کاهش افت انرژی و

۶- نتیجه‌گیری

یکی از سازه‌هایی که در کانال‌ها می‌تواند جایگزین سرریز و دریچه شود، سازه ترکیبی سرریز-دریچه می‌باشد. سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای به دلیل انحنای سطح سرریز و در نتیجه آن چسبیدن جریان به بدنه سازه دارای ضریب دبی بیشتری نسبت به سرریز-دریچه لبه تیز است. بر این مبنای سازه سرریز و سرریز-دریچه نیم‌استوانه‌ای موقعیت قرارگیری سازه

degree to the horizon, Eleventh Conference on Irrigation and evaporation Reduction, (2011).

- [6] M. Masoudian, M. Gharahgezlou, Flow characteristics of cylindrical weirs in a small laboratory canal, *Journal of Science Series Data Report*, 4(4) (2012) 12-23.
- [7] M. Gharahgezlou, M. Masoudian, S.A.A. Salehi Neyshabouri, F. Naderi, A. Severi, Laboratory investigation of Combination of cylindrical and semi cylindrical weir- gate model in a small canal, *Journal of water and Soil Conservation*, 20(1) (2013) 185-198.
- [8] A. Severi, M. Masoudian, E. Kordi, K. Rotter, Laboratory review of variations in the coefficient of flow and energy loss in cylinder weir-gate with vertical motion, *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 44(4) (2014) 65-81.
- [9] Sh. Aberi Forotan, S.A. Ayyobzadeh, The effect of suspended load on the discharge coefficient in the flow of overflows and valves, *Journal of Engineering*, (2004) 25 113-122
- [10] R.H. French, R.H. French, *Open-channel hydraulics*, (1985).
- [11] M. Hoseyni, J. Abrishami, *Open- channel hydraulics*, Astan Quds Razavi Publishing, Mashhad, (2007).
- [12] M.G. Bos, *Discharge measurement structures*, Ilri, 1976.
- [13] S. Ziaiefar, Experimental Investigation of semi cylindrical weir – gate discharge Coefficient with various position angles in free flow, Master Thesis hydraulic structures. Gorgan University, (2014) 164.

افزایش ضریب دبی عبوری نسبت به انحنای رو به پایین دست دارد زیرا انحنای نیم استوانه‌ای سبب هدایت تدریجی خطوط جریان بسمت سرریز و دریچه و کاهش شیب خطوط در مقطع ورودی و در نتیجه کاهش مقاومت در برابر جریان و افت ورودی می‌گردد، و این موضوع سبب افزایش ضریب دبی سازه می‌گردد. همچنین مشاهده گردیده است ضریب دبی در زاویایی که سازه به صورت سرریز می‌باشد، بیشتر از زاویایی می‌باشد که سازه به صورت سرریز-دریچه قرار گرفته است.

مراجع

- [1] D.E. Metzler, A model study of Tainter-gate operation, State University of Iowa, 1948.
- [2] H. Chanson, J.S. Montes, Overflow characteristics of circular weirs: Effects of inflow conditions, *Journal of irrigation and drainage engineering*, 124(3) (1998) 152-162.
- [3] A.-A.M. Negm, A. Al-Brahim, A. Alhamid, Combined-free flow over weirs and below gates, *Journal of Hydraulic research*, 40(3) (2002) 359-365.
- [4] M. Masoudian, M. Gharahgezlou, A. Severi, S. Ziaiefar, The effect rotation semi cylinder weir- gate on the flow rate of loss energy, Eleventh Conference Hydraulic Iran, (2012).
- [5] M. Masoudian, M. Gharahgezlou, A. Severi, S. Ziaiefar, Characterization of Combination of semi cylindrical wire -gate curvature Upstream positioned at different

Please cite this article using:

M. Saneie, F. Alizadeh, M. Masoudian, Investigation of the discharge coefficient and energy loss in a semi cylindrical weir and semi cylindrical weir-gate, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(3) (2018) 499-510.

DOI: 10.22060/ceej.2017.10084.4824



