



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره سوم، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.11642.2775

بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز مرکب-روزنه

ابراهیم شعبانی^۱، *عبدالرضا ظهیری^۲، مهدی مفتاح‌هلقی^۲ و امیراحمد دهقانی^۲

^۱دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،

^۲دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۶/۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲۴

چکیده

سابقه و هدف: سرریزها و روزنه‌ها (دریچه‌ها) از جمله سازه‌های هیدرولیکی هستند که به ترتیب برای کنترل عمق و دبی جریان به کار می‌روند. همچنین هر دو سازه به طور وسیع برای اندازه‌گیری دبی جریان نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. از مهم‌ترین دلایل استفاده از این سازه‌ها به عنوان وسایل اندازه‌گیری، داشتن رابطه دبی-اشل ساده است. همچنین در مواردی که جریان آب انتقالی حاوی مواد رسوبی و اجسام شناور باشد، ترکیب این دو سازه باعث بهبود عملکرد سیستم می‌شود. یکی از گزینه‌هایی که برای افزایش کارایی سازه ترکیبی سرریز-روزنه قابل استفاده است، ترکیب سرریزهای مرکب با روزنه می‌باشد. مطالعات بسیار محدودی در این زمینه وجود دارد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش با هدف بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز مرکب (مثالی-مستطیلی)-روزنه انجام شده است. آزمایش‌ها در یک فلوم مستطیلی به طول ۱۰ متر و عرض ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. در این آزمایش‌ها از سرریزهای مثالی با زوایای ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه و روزنه‌های مستطیلی استفاده شد. عرض سرریز مستطیلی ۴۰ سانتی‌متر بود.

یافته‌ها: نتایج این پژوهش نشان داد که برای سازه سرریز مرکب در تمامی زوایای مورد مطالعه، با افزایش ارتفاع نسبی سرریز (نسبت هد آب یا بار آبی روی سرریز به ارتفاع سرریز)، ضریب دبی سرریز مرکب افزایش می‌یابد. با وجود تغییرات نسبتاً زیاد بار آبی روی سرریز و نیز زوایای سرریز مثالی، تغییرات ضریب دبی سرریز مرکب نسبتاً کم بوده و در محدوده ۰/۵۸ تا ۰/۶۱ تغییر می‌کند. این مسأله بیانگر اهمیت تعیین دقیق این ضریب برای سازه سرریز مرکب است. همچنین مشخص شد که با افزایش زاویه رأس مثلث در سرریزهای مرکب، ضریب دبی این سازه افزایش می‌یابد این در حالی است که با افزایش این زاویه در سرریزهای مرکب-روزنه، ضریب دبی سازه مذکور کاهش می‌یابد. ارتفاع بازشدگی روزنه نیز بر ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز مرکب-روزنه مؤثر است به طوری که با افزایش این پارامتر، ضریب دبی سازه ترکیبی کاهش می‌یابد. همچنین مشخص شد که ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز مرکب-روزنه تا حدودی کم‌تر از ضریب دبی این سازه در حالت بدون روزنه است.

* مسئول مکاتبه: zahiri.areza@gmail.com

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان بر اساس اطلاعات ساده‌ای مثل هندسه سرریز مرکب و روزنه و نیز عمق جریان در بالادست سازه ترکیبی سرریز مرکب- روزنه، ضریب دبی را با دقت مناسبی محاسبه نموده و این سیستم ترکیبی را با اطمینان در کانال‌ها و شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار داد. در این صورت ضمن کنترل مناسب تراز سطح آب توسط سرریز مرکب، انتقال رسوب معلق وارد شده به کانال نیز از روزنه به خوبی انجام خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: سرریز مثلثی، سیستم ترکیبی سرریز- روزنه، ضریب دبی، مدل آزمایشگاهی

مقدمه

امروزه ضرورت مدیریت و حفاظت از منابع آب بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. بهینه‌سازی مصرف آب بیش از پیش مهم شده و در این راستا اندازه‌گیری دقیق دبی جریان نقش اصلی را ایفا می‌کند. به این منظور سازه‌های مختلفی به‌کار می‌رود که معمول‌ترین آن‌ها سرریزها و روزنه‌ها می‌باشد. همچنین این سازه‌ها در اندازه‌گیری دبی جریان و تنظیم سطح آب کاربرد گسترده‌ای در کانال‌های انتقال آب دارد. اگرچه سرریزهای لبه‌تیز ساده از عملکرد مناسبی برخوردار می‌باشند اما دارای محدودیت‌هایی نیز می‌باشند. به‌طور مثال سرریزهای لبه‌تیز مثلثی با وجود این‌که دبی جریان را با دقت مناسبی اندازه‌گیری می‌کنند، اما فقط برای دبی‌های کم مناسب بوده و برای تخلیه دبی‌های بالا کارایی کم‌تری دارند. هم‌اکنون گزینه ترکیب سرریزها با شکل‌های مختلف کاربرد زیادی پیدا نموده که به آن‌ها سرریزهای لبه‌تیز مرکب گفته می‌شود (۳۵). سرریزهای مرکب که شکل هندسی مقطع تاج آن‌ها ترکیبی از دو سرریز پایینی و بالایی است تاکنون مورد توجه پژوهشگران زیادی قرار گرفته است. این نوع سرریزها علاوه بر سادگی در ساخت، از نظر هیدرولیکی نیز دارای کارایی زیادی

می‌باشند. نوع خاص و ویژه این سرریزها، سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی است. این سرریز شامل یک سرریز مثلثی در قسمت پایین (به‌منظور افزایش دقت اندازه‌گیری دبی جریان در محدوده دبی‌های پایین) و یک سرریز مستطیلی در قسمت بالا (به‌منظور افزایش ظرفیت دبی عبوری از سرریز) می‌باشد. مزیت مهم سرریزهای مثلثی این است که در مقایسه با سرریزهای مستطیلی یا ذوزنقه‌ای و در یک دبی جریان ثابت، بار هیدرولیکی بیش‌تری در بالادست سرریز ایجاد نموده و در این حالت خطای اندازه‌گیری بار آبی کم‌تر می‌شود. همچنین در دبی جریان‌های زیاد، دهانه فوقانی مستطیل شکل از افزایش زیاد سطح آب بالادست سرریز و برگشت آب جلوگیری نموده و حجم بالایی از جریان را از سرریز عبور خواهد داد. در شکل ۱ عبور جریان گل‌آلود از روی یک سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با توجه به غلظت بالای رسوب در این جریان، احتمال ته‌نشینی رسوبات در مقابل سرریز زیاد بوده و این امر باعث اختلال در فرآیند محاسبات دبی- اشل سرریز خواهد شد.



شکل ۱- سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی در یک آبراهه کوچک.

Figure 1. A triangular-rectangular compound weir in a small channel.

۱۲۰ و ۱۵۰ درجه، رابطه دقیقی برای محاسبه دبی جریان عبوری از سرریز مرکب مثلثی- مثلثی ارائه نمودند (۲۳). جان و همکاران (۲۰۰۶) با انجام یک سری آزمایش، دبی جریان برای چهار نوع سرریز لبه‌تیز مرکب را اندازه‌گیری نمودند. در این آزمایش‌ها از ترکیب سرریزهای مستطیلی- مستطیلی، مستطیلی- ذوزنقه‌ای، مثلثی- مستطیلی و مثلثی- ذوزنقه‌ای استفاده شده است. در مطالعات فوق برای محاسبه دبی جریان و استخراج رابطه دبی- اشل در سرریزهای مرکب از مجموع دبی سرریزهای ساده (به‌صورت ترکیب خطی) به‌عنوان دبی کل سرریز مرکب استفاده شده است (۱۴). ظهیری و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از مدل ریاضی شبه دویبعدی، دبی جریان عبوری از سرریزهای مرکب لبه‌تیز را محاسبه نمودند. آن‌ها از ایده تشابه هیدرولیک جریان در سرریزهای مرکب با هیدرولیک کانال‌های مرکب استفاده نموده و به کمک مدل ریاضی شیونو و نایت (۱۹۹۱)، دبی جریان این‌گونه سرریزها محاسبه شده است. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان داد که خطای نسبی نتایج روابط معمول سرریزهای مرکب در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی بیش از ۸ درصد می‌باشد در حالی که این خطا برای نتایج مدل ریاضی شبه دویبعدی حدود ۱ درصد است (۳۵).

اولین بار سازمان احیای اراضی امریکا (۱۹۶۳) از یک سرریز لبه‌تیز مرکب مثلثی- مستطیلی برای اندازه‌گیری جریان استفاده نمود (۳۲). مزیت مهم این‌گونه سرریزها، دقت مناسب در اندازه‌گیری دبی در محدوده وسیعی از شرایط جریان (کم‌آبی تا سیلاب) است. اولین مطالعات تجربی بر روی سرریزهای مرکب توسط برگمن (۱۹۶۳) انجام شده است (۱۷). او ظرفیت جریان بر روی سه مدل سرریز لبه‌تیز مرکب با فشردگی جانبی در یک کانال را مورد ارزیابی قرار داد. یاسی و عباس‌پور (۲۰۰۵) با بررسی جریان در سرریز لبه‌تیز مرکب مثلثی- مستطیلی با زاویه راس ۹۰ درجه در حالت با و بدون فشردگی جانبی به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع سطح آب روی سرریز و در محدوده تداخل جریان در مرز سرریزهای مثلثی و مستطیلی، ضریب دبی به‌صورت متناوب افزایش و کاهش می‌یابد (۳۳). مارتینز و همکاران (۲۰۰۵) با بررسی آزمایشگاهی یک سرریز لبه‌تیز مرکب مثلثی، این نوع سرریز را برای استفاده در سدهای رسوب‌گیر در حوضه‌های کوهستانی پیشنهاد نمودند. انتخاب این نوع سرریز به‌دلیل پیوستگی رابطه دبی- اشل در تمامی عمق‌های جریان روی سرریز است (۱۷). پیراتیپان و همکاران (۲۰۰۶) نیز با بررسی آزمایشگاهی سرریز مرکب با زوایای راس ۶۰، ۹۰،

این نتیجه رسیدند که ضریب آبگذری سرریز مثلثی-روزنه مستطیلی بزرگتر از ضریب سیستم سرریز مستطیلی-روزنه مثلثی است (۱۱). نجم (۱۹۹۵) خصوصیات جریان ترکیبی آزاد در حالت سرریز مستطیلی روی روزنه مستطیلی با انقباض جانبی را بررسی نموده و رابطه‌ای را برای تخمین ضریب دبی سرریز-دریچه ارائه نمود (۲۰). نجم و همکاران (۲۰۰۲) هیدرولیک جریان در سیستم سرریز-روزنه لبه‌تیز مستطیلی را به‌صورت آزمایشگاهی مطالعه نمودند. آن‌ها برای سه حالت شیب کف صفر، شیب ملایم و شیب تند روابطی را برای محاسبه دبی جریان عبوری از سیستم سرریز-روزنه ارائه نمودند (۱۹). اسماعیلی و فتحی‌مقدم (۲۰۰۶) به بررسی مدل ترکیبی سرریز مستطیلی-روزنه در کانال‌های مدور آب و فاضلاب پرداختند. آن‌ها نشان دادند که ضریب شدت جریان سرریز و روزنه در برابر نسبت‌های بدون بعد پارامترهای هیدرولیکی از روند مشخصی پیروی نمی‌نماید (۱۲). رضویان و حیدرپور (۲۰۰۷) نتایج آزمایشگاهی به‌دست آمده از شدت جریان عبوری برای جریان همزمان از روی سرریز ذوزنقه‌ای و زیر روزنه مستطیلی بدون فشردگی در حالت لبه‌تیز را با نتایج به‌دست آمده از تئوری جریان در سیستم سرریز-روزنه مورد تحلیل قرار دادند. آن‌ها با مقایسه تغییرات ضریب شدت جریان در برابر پارامترهای بی‌بعد به این نتیجه رسیدند که با افزایش هر یک از پارامترهای بی‌بعد و با فرض ثابت ماندن سایر پارامترها، ضریب شدت جریان افزایش می‌یابد (۲۶). بلوچی و زینی‌وند (۲۰۱۲) بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز-روزنه در شرایط سیلابی را مورد تحلیل قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که ضریب دبی با افزایش نسبت‌های بی‌بعد h/d (بار آبی روی سرریز به ارتفاع روزنه)، h/b (بار آبی روی سرریز به عرض روزنه) و h/y (بار آبی روی سرریز

اگرچه سرریزهای مرکب کارایی سرریزهای ساده را افزایش داده‌اند، اما این سازه‌ها در بعضی از شرایط هیدرولیکی با محدودیت‌هایی نیز مواجه هستند. به‌طور مثال، تجمع رسوب در بالادست سرریزها ضمن ایجاد مشکلات عدیده برای بهره‌برداری از کانال، محاسبات هیدرولیکی ضریب تخلیه سرریز و نیز دبی جریان عبوری از آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. به‌منظور به حداقل رساندن مشکلات سرریزهای مرکب و نیز بالا بردن کارایی آن‌ها، استفاده از سازه ترکیبی سرریز-روزنه پیشنهاد شده است. استفاده از سیستم ترکیبی سرریز-روزنه به‌میزان زیادی امکان اندازه‌گیری را ساده‌تر و دقیق‌تر می‌نماید (۳، ۵، ۱۱، ۱۹ و ۳۱).

سازه ترکیبی سرریز-روزنه به دو منظور اندازه‌گیری دقیق‌تر دبی جریان و جلوگیری از انباشته شدن رسوبات در بالادست سرریز به‌کار می‌رود (۷). در سرریزهای مرکب به‌دلیل وجود یک سرریز کوچک در پایین سازه، حتی در دبی‌های کم جریان نیز عمق نسبتاً کافی در بالادست سرریز ایجاد شده و به همین دلیل قرائت هد آب روی سرریز و به تبع آن محاسبه دبی جریان با دقت بیشتری همراه خواهد بود. همچنین به‌دلیل وجود دریچه، انتقال رسوب از درون این دریچه نسبتاً راحت بوده و احتمال تجمع رسوب و اجسام شناور در بالادست سازه کم‌تر خواهد شد. تداخل جریان عبوری از روی سرریز و درون روزنه باعث تغییر در رفتار هیدرولیکی سازه ترکیبی شده و ضریب دبی این سازه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. در زمینه انواع سازه‌های ترکیبی سرریز-روزنه، پژوهش‌های مختلفی انجام شده است. السعید و همکاران (۱۹۹۴) اندازه‌گیری جریان ترکیبی با دبی جریان زیاد را در کانال‌های آبیاری مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها پژوهش‌های خود را برای حالت سرریز مستطیلی روی روزنه مثلثی و بالعکس انجام داده و به

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی: پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی (ضریب آبگذری) سازه ترکیبی سرریز- روزنه (C_d) را می‌توان به سه گروه پارامترهای هندسی، پارامترهای هیدرولیکی و مشخصات سیال دسته‌بندی کرد. پارامترهای هندسی شامل عرض کانال (B)، شیب کانال (S_0)، ارتفاع سرریز (P)، عرض روزنه (b)، ارتفاع بازشدگی (a)، زاویه راس سرریز مثلثی (θ) و طول مؤثر تاج سرریز (L) می‌باشند. پارامترهای هیدرولیکی شامل سرعت جریان در بالادست سازه (V)، ارتفاع آب روی سرریز در بالادست سازه (h) و ارتفاع آب در بالادست سازه (H) می‌باشند. پارامترهای مرتبط با مشخصات سیال نیز شامل جرم حجمی سیال (ρ)، لزجت دینامیکی سیال (μ) و ضریب کشش سطحی سیال (σ) هستند. علاوه بر این پارامترها، شتاب ثقل (g) نیز مؤثر است. در شکل ۲، مقطع عرضی و نمای جانبی سیستم ترکیبی سرریز مرکب (مثلثی- مستطیلی) و روزنه مستطیلی نشان داده شده است. در جدول ۱ نیز محدوده تغییرات متغیرهای مؤثر در آزمایش‌های این پژوهش ذکر شده است.

با استفاده از تئوری پی باکینگهام و انتخاب متغیرهای تکرارشونده (شامل V ، h و ρ)، پارامترهای بدون بعد مؤثر بر ضریب دبی سیستم ترکیبی سرریز مرکب- روزنه به صورت رابطه‌های ۱ و ۲ به دست می‌آید:

$$f\left(C_d, \frac{gh}{V^2}, \frac{\mu}{\rho h V}, \frac{\sigma}{h V^2}, \frac{h}{b}, \frac{h}{L}, \frac{h}{a}, \frac{H}{h}, \frac{h}{P}, \frac{h}{B}, S_0, \theta\right) = 0 \quad (1)$$

$$C_d = f\left(Fr^2, Re, We, \frac{h}{b}, \frac{h}{L}, \frac{h}{a}, \frac{H}{h}, \frac{h}{P}, \frac{h}{B}, S_0, \theta\right) = 0 \quad (2)$$

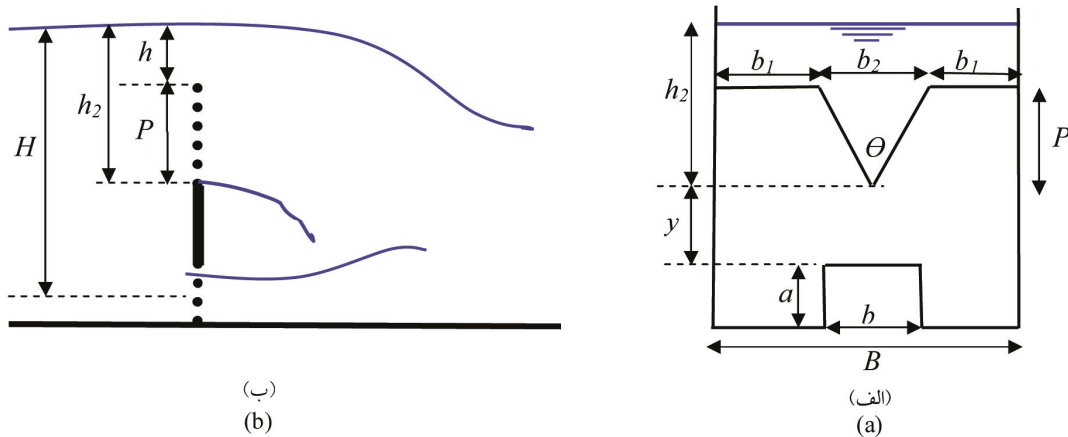
به فاصله تاج سرریز تا روزنه) کاهش می‌یابد و سیستم ترکیبی سرریز- روزنه اغلب عملکردی شبیه به روزنه دارد (۷). انزانی (۲۰۱۵) با بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز- روزنه قوسی در پلان نشان داد که با افزایش زاویه قوس، دبی جریان عبوری از سرریزهای قوسی نسبت به سرریز خطی برای دو حالت قوس بالادست و پایین دست به ترتیب حدود ۴۳ و ۲۲ درصد افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش نسبت H/a (بار آبی روزنه به ارتفاع روزنه)، ضریب دبی این سازه افزایش می‌یابد (۵). پسرکلو و عمادی (۲۰۱۵) با بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز مرکب- دریچه، نشان دادند که با افزایش بازشدگی دریچه، ضریب دبی افزایش می‌یابد. همچنین هیدرولیک جریان تحت تأثیر شکل سرریز مرکب و بازشدگی دریچه قرار گرفته و بنابراین در حالت کلی تغییرات ضریب دبی کم است (۲۲).

تاکنون بررسی‌های متعدد آزمایشگاهی و ریاضی در زمینه سرریزهای مرکب صورت گرفته است، ولی مطالعه و پژوهشی در زمینه سیستم ترکیبی سرریز مرکب- روزنه به ندرت انجام گردیده است (۲۱). از این رو در این پژوهش، رفتار هیدرولیک جریان عبوری از سرریز مرکب در ترکیب با روزنه به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین با انجام آزمایش‌هایی، تغییرات ضریب دبی جریان در سازه ترکیبی سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی به همراه روزنه تحلیل شده است.

عدد وبر در رفتار جریان بدون تاثیر خواهد بود (۱۰، ۱۶ و ۳۰). همچنین با توجه به ثابت بودن شیب طولی کانال در آزمایش‌های این پژوهش، این پارامتر نیز در روابط فوق قابل حذف است. بر این اساس و با انجام چند ساده‌سازی ریاضی، رابطه ۲ به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$C_d = f\left(Fr, \frac{h}{L}, \frac{H}{a}, \frac{h}{P}, \theta\right) \quad (3)$$

که در آن، We و Re ، Fr به ترتیب عدد بدون بعد فرود جریان، عدد رینولدز جریان و عدد وبر می‌باشند. با توجه به آشفته بودن جریان در کانال (اعداد رینولدز در محدوده ۲۵۰۰۰ تا ۴۵۰۰۰ متغیر می‌باشند) و نیز جریان عبوری از سرریز مرکب می‌توان تاثیر لزجت در رفتار سیال را نادیده گرفت و بنابراین پارامتر عدد رینولدز از روابط فوق قابل حذف است. علاوه بر این در صورتی که حداقل ارتفاع آب روی سازه ترکیبی بیش از ۳ سانتی‌متر باشد، اثر کشش سطحی سیال یا



شکل ۲- پارامترهای مؤثر در سازه ترکیبی سرریز مرکب (مثلثی- مستطیلی)- روزنه، الف) مقطع عرضی، ب) نمای جانبی.

Figure 2. Effective parameters for combined system of compound weirs (triangular-rectangular) - orifice, a) Cross section, b) side view.

جدول ۱- پارامترهای ثابت و متغیر در آزمایش‌های این پژوهش.

Table 1. Constant and variable parameters in the experiments.

پارامترهای متغیر Variable parameters			پارامترهای ثابت Constant parameters				θ	
Q (lit/s)	a (cm)	B (cm)	b_1 (cm)	b_2 (cm)	b (cm)	P (cm)		S_0
10,12,14,16,18	2,3,4	40	15	10	10	10	0	90,60,45

فلوم آزمایشگاهی دارای عرض و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر می‌باشد. بر روی این فلوم در تمامی طول مورد استفاده در آزمایش‌ها، ریلی نصب شده

معرفی فلوم و سیستم گردش جریان: آزمایش‌های این پژوهش در کانال آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. این

مدل‌های ساخته‌شده در شکل ۳ نشان داده شده است. بعد از نصب این مدل‌ها، پمپ روشن شده و به کمک دستگاه تغییر دور یا فرکانس پمپ (اینورتر)، دبی جریان در مقادیر دلخواه تنظیم می‌شود. دستگاه اینورتر قبل از استفاده به کمک اندازه‌گیری دبی جریان کانال به روش حجمی و به کمک مخزن پایین‌دست، واسنجی (کالیبره) شد. بعد از تنظیم دبی و پایدار شدن جریان در بالادست سازه‌ها، عمق آب و نیز بار آبی روی سرریزها و روزنه اندازه‌گیری می‌شد.

است که تجهیزات اندازه‌گیری مانند عمق‌سنج می‌توانند روی این ریل در جهت طول و عرض کانال حرکت کنند. برای مشاهده روند آزمایش‌ها، دیواره‌های فلوم از جنس پلکسی‌گلاس انتخاب شده است. در آزمایش‌های صورت گرفته با توجه به جنس و قطر ورقه‌های موجود، برای ساخت مدل‌های فیزیکی از ورق گالوانیزه با قطر ۲ میلی‌متر استفاده شد. پس از طراحی و برش این ورقه‌ها، سرریز مرکب با دهانه مثلثی ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه ساخته شد. بعضی از



شکل ۳- مدل فیزیکی سیستم ترکیبی سرریز مرکب (مثلثی-مستطیلی)- روزنه با دهانه مثلثی ۶۰ و ۹۰ درجه.

Figure 3. Physical model of combined compound weirs (triangular-rectangular)-orifice with notch angles of 60 and 90 degrees.

$$Q_{wr} = \frac{2}{3} C_{dwr} \sqrt{2g} (2b_1) h^{1.5} \quad (6)$$

که در آن، Q_{wr} دبی جریان عبوری از سرریز مستطیلی و C_{dwr} ضریب آبگذری سرریز مستطیلی می‌باشند. ضریب دبی سرریز مستطیلی از رابطه ۷ به دست می‌آید:

$$C_{dwr} = 0.611 + 0.075 \left(\frac{h}{p} \right) \quad (7)$$

بر اساس روابط فوق، دبی جریان عبوری از سرریز مرکب مثلثی-مستطیلی به صورت زیر بیان می‌شود (۱۳):

روابط حاکم: دبی عبوری از سرریز مثلثی طبق رابطه ۴ بیان می‌شود:

$$Q_{wt} = \frac{8}{15} C_{dwt} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) h_2^{2.5} \quad (8)$$

که در آن، Q_{wt} دبی جریان عبوری از سرریز مثلثی، C_{dwt} ضریب دبی سرریز مثلثی و h_2 ارتفاع مؤثر آب روی سرریز مثلثی می‌باشند. ضریب دبی در سرریزهای مثلثی به کمک رابطه ۵ قابل تعیین است (۱۶):

$$C_{dwt} = 0.6085 - 0.0525\theta + 0.02135\theta^2 \quad (9)$$

دبی جریان عبوری از سرریزهای مستطیلی به کمک رابطه ۶ به دست می‌آید (۱۷):

$$Q_{wtr} = \frac{8}{15} C_{dwt} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h_2^{2.5} - h^{2.5}) + \frac{2}{3} C_{dwr} \sqrt{2g} (2b_1) h^{1.5} \quad (8)$$

که در آن، Q_{wtr} دبی جریان عبوری از سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی می‌باشد. ضریب آبگذری معادل در سرریز مرکب مثلثی- مستطیلی (C_{dwt}) با استفاده از رابطه ۸ و به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$C_{dwt} = \frac{Q_{wtr}}{\frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h_2^{2.5} - h^{2.5}) + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (2b_1) h^{1.5}} \quad (9)$$

$$C_{do} = 0.611 \left(\frac{H - a}{H + 15a} \right) \quad (11)$$

دبی جریان عبوری از روزنه مستطیلی (Q_o) از رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$Q_o = C_{do} ab \sqrt{2gH} \quad (10)$$

با توجه به روابط فوق برای سازه‌های سرریز و روزنه، دبی کل جریان تئوری عبوری از سازه ترکیبی سرریز مرکب- روزنه از مجموع دو دبی جریان به دست آمده از رابطه‌های ۸ و ۱۰ به دست خواهد آمد:

که در آن، C_{do} ضریب آبگذری روزنه می‌باشد. ضریب دبی روزنه به صورت رابطه زیر تعریف می‌شود (۲۹):

$$Q_t = Q_{wt} + Q_{wr} + Q_o = \frac{8}{15} C_{dwt} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h_2^{2.5} - h^{2.5}) + \frac{2}{3} C_{dwr} \sqrt{2g} (2b_1) h^{1.5} + C_{do} ab \sqrt{2gH} \quad (12)$$

(۲۰). برای سادگی محاسبات و استفاده کاربردی از سیستم ترکیبی، ابتدا باید از رابطه زیر، ضریب دبی معادل سازه ترکیبی سرریز مرکب- روزنه (C_{dc}) محاسبه شود:

بدیهی است که با توجه به اثر متقابل جریان‌های عبوری از روی سرریز و از درون روزنه، هیدرولیک جریان در این شرایط پیچیده بوده و باید این اثر متقابل در محاسبه دبی کل عبوری در نظر گرفته شود

$$C_{dc} = \frac{Q_t}{\frac{8}{15} \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h_2^{2.5} - h^{2.5}) + \frac{2}{3} \sqrt{2g} (2b_1) h^{1.5} + ab \sqrt{2gH}} \quad (13)$$

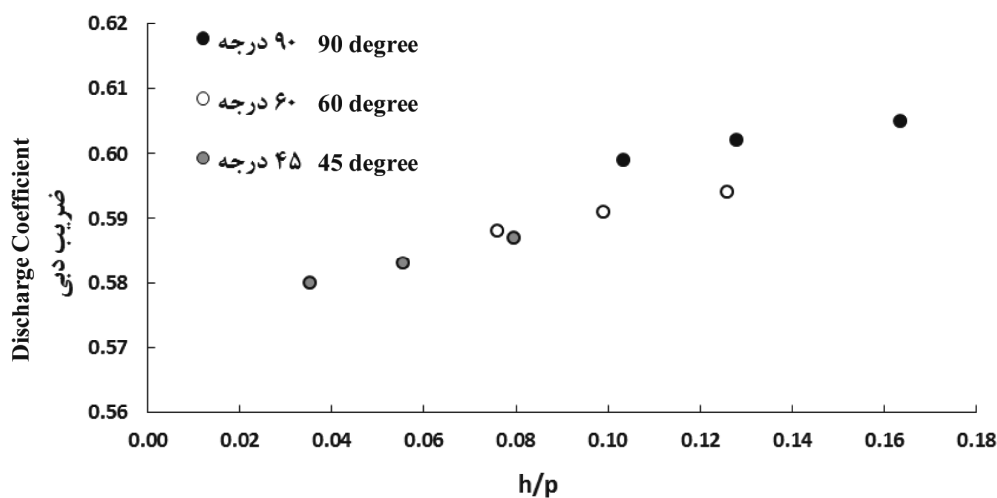
در زوایای مختلف سرریز مثلثی ارائه شده است. همان‌طور که در هر دو شکل مشاهده می‌شود، در تمامی زوایای مورد مطالعه، با افزایش ارتفاع نسبی سرریز، ضریب دبی سرریز مرکب نیز افزایش می‌یابد.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات ضریب دبی سرریز مرکب (مثلثی- مستطیلی): در شکل‌های ۴ و ۵ به ترتیب تغییرات ضریب آبگذری سرریز مرکب نسبت به h/P و h/L

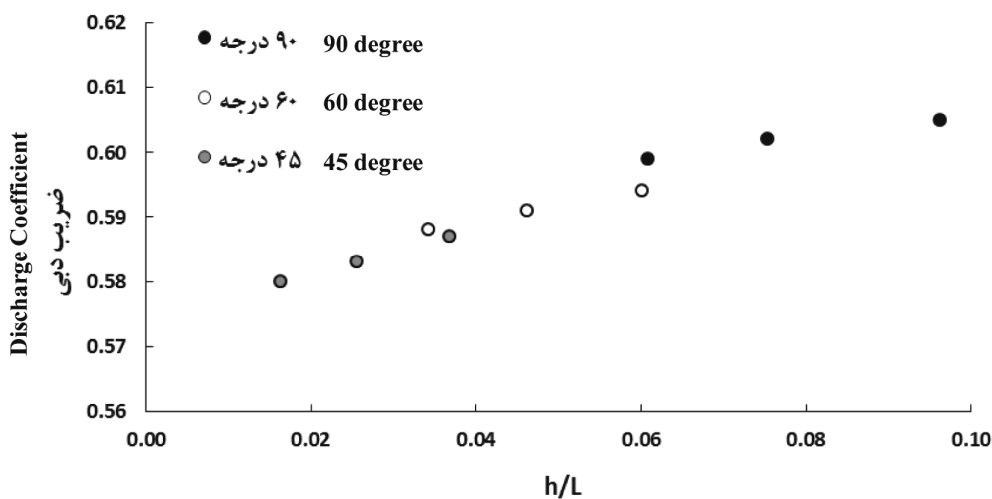
ظرفیت بالای عبور دبی در سرریزهای مرکب، این سازه‌ها کم‌تر تحت تأثیر شرایط جریان بالادست قرار می‌گیرند (۲۲).

با وجود تغییرات نسبتاً زیاد بار آبی روی سرریز و نیز زوایای سرریز مثلثی، تغییرات ضریب دبی سرریز مرکب بسیار کم بوده و در محدوده ۰/۵۸ تا ۰/۶۱ تغییر می‌کند. این مسأله نشان می‌دهد که به دلیل



شکل ۴- تغییرات ضریب دبی با h/P برای سرریز مرکب در زوایای مختلف سرریز مثلثی.

Figure 4. Variation of discharge coefficient with h/P in compound weir for various notch angles of triangular weir.

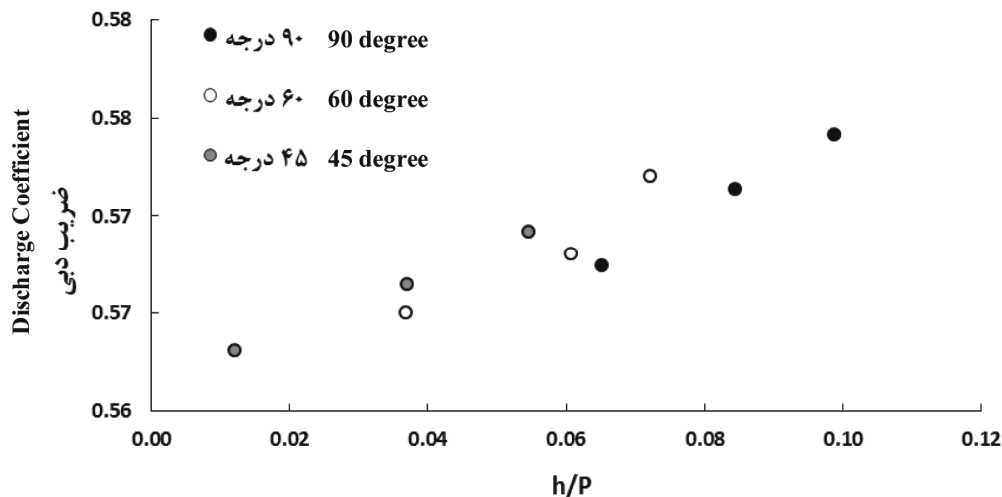


شکل ۵- تغییرات ضریب دبی با h/L برای سرریز مرکب در زوایای مختلف سرریز مثلثی.

Figure 5. Variation of discharge coefficient with h/L in compound weir for various notch angles of triangular weir.

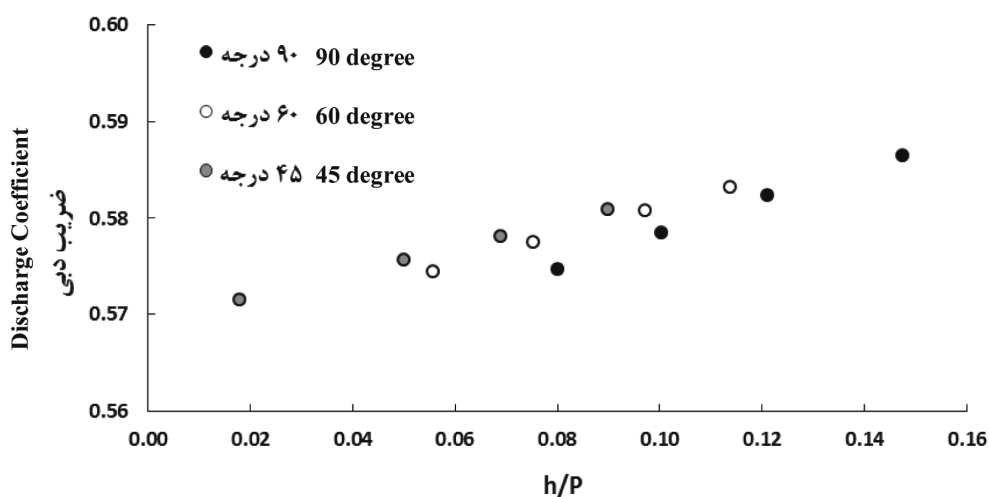
در یک بازشدگی یکسان، با افزایش نسبت h/P ضریب دبی سازه ترکیبی افزایش می‌یابد. در شکل‌های ۹ تا ۱۱ نتایج تغییرات ضریب آبگذری سیستم ترکیبی سرریز مرکب- روزنه به‌ازای زوایای مختلف سرریز مثلثی نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این حالت تغییرات ضریب آبگذری روند مشخص‌تری برای بازشدگی‌های مختلف روزنه دارد. همچنین مشخص است که در هر زاویه و با افزایش ارتفاع بازشدگی روزنه، ضریب آبگذری سازه سرریز مرکب- روزنه کاهش می‌یابد. علت این امر این است که با افزایش میزان بازشدگی روزنه، تداخل جریان ریزشی از روی سرریز و جریان خروجی از روزنه افزایش یافته و این مسئله باعث افزایش افت انرژی جریان در ورودی روزنه می‌شود. بنابراین ضریب آبگذری سیستم ترکیبی کاهش می‌یابد.

بررسی تغییرات ضریب دبی سازه ترکیبی سرریز مرکب- روزنه: در شکل‌های ۶ تا ۸ تغییرات ضریب دبی سیستم ترکیبی سرریز مرکب- روزنه نسبت به h/P برای بازشدگی‌های مختلف روزنه نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود محدوده تغییرات ضریب دبی در این حالت حدود $0/56$ تا $0/59$ می‌باشد که تا حدودی از ضریب دبی سرریز مرکب کوچک‌تر است. از این شکل‌ها استنباط می‌شود که در یک بازشدگی یکسان با افزایش زاویه راس سرریز مثلثی، ضریب آبگذری سیستم ترکیبی کاهش می‌یابد. علت این امر این است که با افزایش زاویه راس سرریز مثلثی، بار آبی و دبی جریان کم‌تری از روی سرریز عبور نموده و مقطع عبوری کوچک‌تر می‌شود. بنابراین سازه ترکیبی سرریز مرکب- روزنه با زاویه 45 درجه بزرگ‌ترین ضریب آبگذری را در بین زوایای دیگر دارا می‌باشد. همچنین



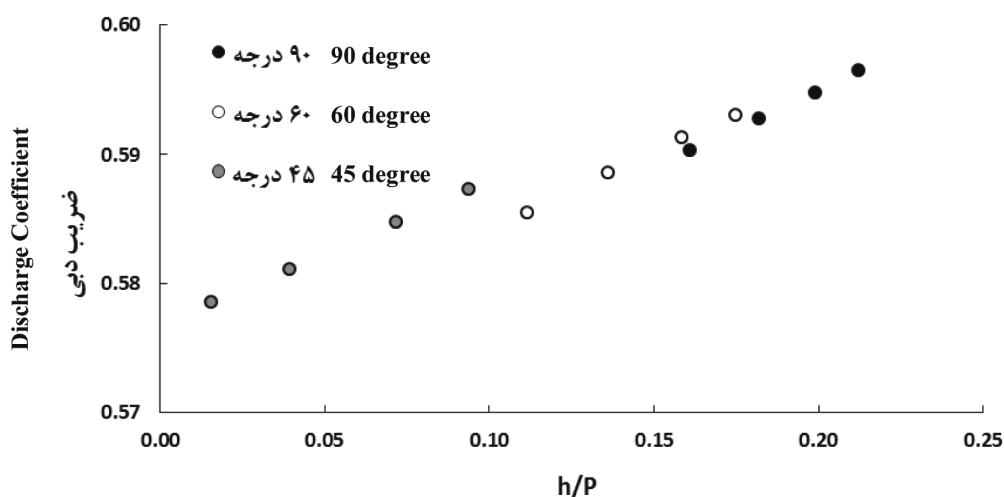
شکل ۶- تغییرات ضریب دبی با h/P برای سرریز مرکب- روزنه در زوایای مختلف و در بازشدگی ۴ سانتی‌متر.

Figure 6. Variation of discharge coefficient with h/P in combined compound weir-orifice for various notch angles in opening height of 4 cm.



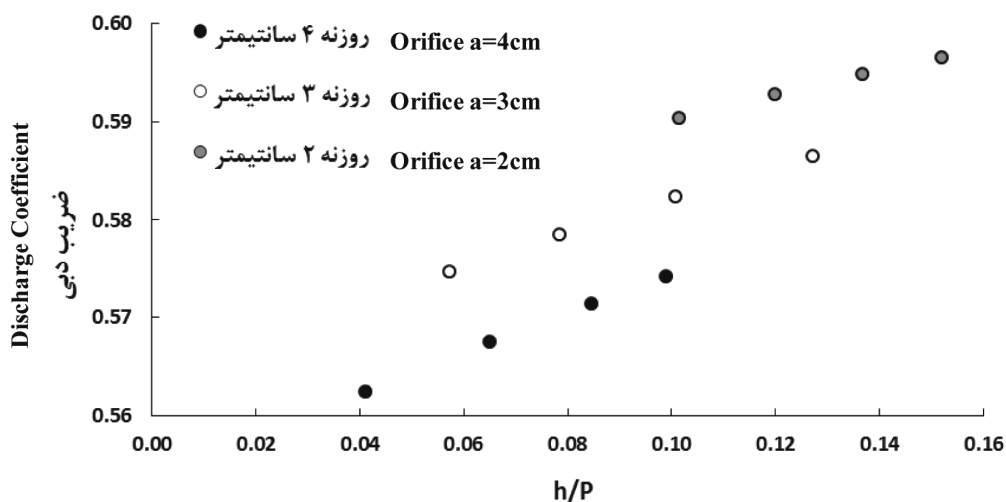
شکل ۷- تغییرات ضریب دبی با h/P برای سرریز مرکب- روزنه در زوایای مختلف و در بازشدگی ۳ سانتی متر.

Figure 7. Variation of discharge coefficient with h/P in combined compound weir-orifice for various notch angels in opening height of 3 cm.



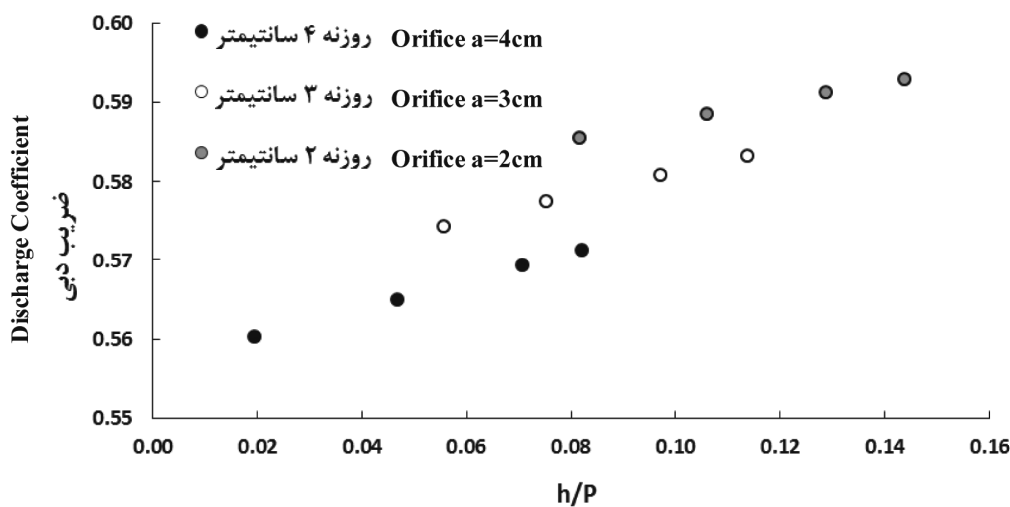
شکل ۸- تغییرات ضریب دبی با h/P برای سرریز مرکب- روزنه در زوایای مختلف و در بازشدگی ۲ سانتی متر.

Figure 8. Variation of discharge coefficient with h/P in combined compound weir-orifice for various notch angels in opening height of 2 cm.



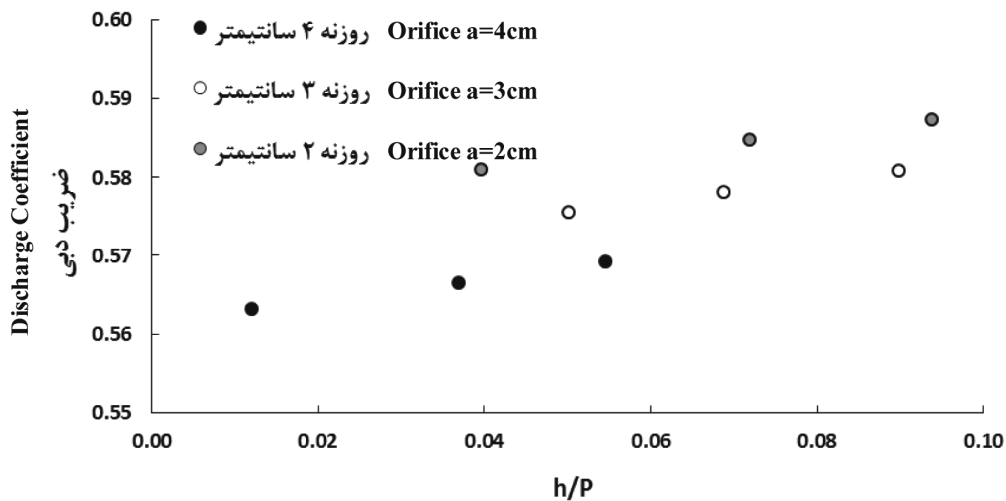
شکل ۹- تغییرات ضریب دبی با h/P در سیستم سرریز مرکب- روزنه در بازشدگی‌های مختلف روزنه (زاویه ۹۰ درجه).

Figure 9. Variation of discharge coefficient with h/P in combined compound weir-orifice for various opening height of orifice (notch angel of 90 degree).



شکل ۱۰- تغییرات ضریب دبی با h/P در سیستم سرریز مرکب- روزنه در بازشدگی‌های مختلف روزنه (زاویه ۶۰ درجه).

Figure 10. Variation of discharge coefficient with h/P in combined compound weir-orifice for various opening height of orifice (notch angel of 60 degree).



شکل ۱۱- تغییرات ضریب دبی با h/P در سیستم سرریز مرکب- روزنه در بازشدگی های مختلف روزنه (زاویه ۴۵ درجه).

Figure 11. Variation of discharge coefficient with h/P in combined compound weir-orifice for various opening height of orifice (notch angel of 45 degree).

سرریز افزایش یافته و تداخل جریان ریزشی و جریان خروجی از روزنه زیاد می شود و در نتیجه افت ورودی جریان باعث کاهش ضریب دبی می شود. بنابراین سازه ترکیبی سرریز مرکب- روزنه با زاویه ۴۵ درجه بزرگترین ضریب آبگذری را در بین زوایای دیگر دارا می باشد. همچنین در یک بازشدگی یکسان، با افزایش نسبت h/P ضریب دبی سازه ترکیبی افزایش می یابد. نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات ضریب آبگذری روند مشخص تری برای بازشدگی های مختلف روزنه دارد. همچنین مشخص شد که در هر زاویه و با افزایش ارتفاع بازشدگی روزنه، ضریب آبگذری سازه سرریز مرکب- روزنه کاهش می یابد. علت این امر این است که با افزایش میزان بازشدگی روزنه، تداخل جریان ریزشی از روی سرریز و جریان خروجی از روزنه افزایش یافته و این مسئله باعث افزایش افت انرژی جریان در ورودی روزنه می شود. بنابراین ضریب آبگذری سیستم ترکیبی کاهش می یابد.

نتیجه گیری

محدوده تغییرات ضریب دبی سرریز مرکب بین ۰/۵۸ تا ۰/۶۱ و سرریز مرکب- روزنه بین ۰/۵۶ تا ۰/۶۰ می باشد. بنابراین ضریب دبی سرریز مرکب- روزنه تا حدودی از ضریب دبی سرریز مرکب کوچکتر است. در تمامی زوایای مورد مطالعه، با افزایش ارتفاع نسبی سرریز، ضریب دبی سرریز مرکب نیز افزایش می یابد. همچنین در یک دبی ثابت با افزایش زاویه راس سرریز مثلثی، ضریب آبگذری سرریز مرکب (مثلثی- مستطیلی) افزایش می یابد. علت این امر این است که با افزایش زاویه راس سرریز مثلثی، بار آبی و دبی جریان کمتری از روی سرریز عبور نموده و مقطع عبوری کوچکتر می شود. بنابراین از میان زوایای بررسی شده، زاویه ۹۰ درجه بالاترین ضریب دبی را دارا می باشد. بررسی ها نشان داد که در یک بازشدگی یکسان با افزایش زاویه راس سرریز مثلثی، ضریب آبگذری سیستم ترکیبی کاهش می یابد. علت این امر این است که با افزایش زاویه و در نتیجه افزایش هد آب، جریان ریزشی از روی

منابع

1. Abdel-Azim, M.N., Al-Brahim, A.M., and Alhamid, A.A. 2002. Combined-free flow over weirs and below gates. *J. Hydraul. Res.* 40: 3. 359-365.
2. Ackers, P., White, W.R., Perkins, J.A., and Harrison, A.J.M. 1978. Weirs and flumes for flow measurement. John Wiley and Sons Publications, New York, 327p.
3. Alhamid, A.A., Negm, A.M., and Al-Brahim, A.M. 1997. Discharge equation for proposed self-cleaning device. *J. King Saud Univ.*, 9: 1. 13-24.
4. American Society for Testing and Materials (ASTM). 1993. Standard method for open-channel flow measurement of water with thin-plate weirs. ASTM D5242. West Conshohocken, Pa. 250p.
5. Anzani, A. 2014. Experimental investigation of discharge coefficient for curved sharp crested weirs in plan with different central angles. M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 85p.
6. Aydin, I., Metin Ger, A., and Hincal, O. 2002. Measurement of small discharges in open channels by slit weir. *J. Hydraul. Eng.* 128: 2. 234-237.
7. Balochi, B., and Zeinivand, M. 2012. Experimental investigation of discharge coefficient for combined structures of weir-orifice in flood conditions. *J. Soil Water Sci.* 22: 2. 151-164. (In Persian)
8. Borghei, S.M., Jalili, M.R., and Ghodsian, M. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. *J. Hydraul. Eng.* 125: 10. 1051-1056.
9. Bos, M.G. 1989. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Wageningen, The Netherlands, 394p.
10. Chadwick, A., and Morfett, J. 1986. Hydraulics in civil engineering. London; Allen and Unwin, 512p.
11. EL-Saiad, A.A., Negam, A.M., and Waheed EL-Din, U. 1995. Simultaneous flow over weirs and below gates. *Civil Engineering Research Magazine*, 17: 7. 62-71.
12. Esmaili, K., and Fathi Moqhadam, M. 2006. Discharge coefficient for combined model of weir-gate. 1st National Conference of Management of Irrigation and Drainage Networks, Ahwaz, 8p. (In Persian)
13. French, R.H. 1986. Open Channel Hydraulics. Mc Grow Hill Book Company, New York, 620p.
14. Jan, C.D., Chang, C.J., and Lee, M.H. 2006. Discussion of Design and calibration of compound sharp-crested weir. *J. Hydraul. Eng.* 132: 8. 868-871.
15. Kindsvater, C.E., and Carter, R.W. 1959. Discharge characteristics of rectangular thin-plate weirs. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 124: 772-822.
16. Lenz, A.T. 1943. Viscosity and surface tension effects on V-notch weir coefficients. *Trans. Am. Soc. Civ. Eng.* 69: 759-802.
17. Martinez, J., Reza, J., Morillas, M.T., and Lopez, J.G. 2005. Design and calibration of a compound sharp-crested weir. *J. Hydraul. Eng.* 131: 2. 112-116.
18. Munson, B.R., Young, D.F., and Okiishi, T.H. 1998. Fundamentals of flows mechanics. Wiley and Sons, New York, 853p.
19. Negm, A.M., Albarahim, A.M., and Alhamid, A.A. 2002. Combined free flow over weirs and gate. *J. Hydraul. Res.* 40: 3. 359-365.
20. Negm, A.M. 1995. Characteristics of combined flow over weirs and under gate with unequal contractions. 2nd Int. Conf. on Hydro-Science and Engineering, Beijing, China, 8p.
21. Negm, A.M. 2000. Characteristics of simultaneous overflow-submerged underflow: unequal contractions. *Engineering Bulletin*, 35: 1. 137-154.
22. Pesaraklo, M., and Emadi, A. 2014. The experimental investigation of combined flow in sharp crested weir and gate in the state of compound weir. The 2nd National Conference on Water, Human and Land, 8p. (In Persian)
23. Piratheepan, M., Winston, N.E.F., and Pathirana, K.P.P. 2006. Discharge measurements in open channels using compound sharp-crested weirs. *J. Inst. Engin.* 3: 31-38.

24. Rajaratnam, N. 1977. Free flow immediately below sluice gates. *J. Hydraul. Div.* 103: 4. 345-351.
25. Ramamurthy, A.S., Tadayon, R., and Chen, Z. 2009. Numerical simulation of sharp-crested weir flow. *J. Can. Civil Eng.* 36: 9. 1530-1534.
26. Razavian, H., and Heidarpour, M. 2007. The investigation of discharge coefficient for combined model of the sharp crested weir-orifice. The 6th Iranian hydraulic conference, Shahrekord University, 9p. (In Persian)
27. Shahabi, M., Bidokhti, N., Dehghani, A.A., and Telvari, A. 2011. Experimental investigation of flow contraction on scour cone downstream of weir-gate structure. 6th National Civil Engineering Congress, Semnan University, Iran, 10p. (In Persian)
28. Shirdeli, A. 2006. Discharge coefficient of rectangular openings in submerged condition and free. The National Conference Management of Irrigation and Drainage Networks, Shahid Chamran University of Ahwaz, 10p. (In Persian)
29. Swamee, P.K., Ojha, C.S.P., and Kumar, S. 1998. Discharge equation for rectangular slots. *J. Hydraul. Eng.* 124: 9. 973-974.
30. Swamee, P.K., Pathak, S.K., and Ghodsian, M. 2001. Viscosity and surface tension effects on rectangular weirs. *ISH J. Hydraul. Eng.* 7: 2. 45-50.
31. United States Bureau of Reclamation (USBR). 1963. Compound weir study. Hydraulic Laboratory Report No. Hyd. 505, 35p.
32. United States Bureau of Reclamation (USBR). 1997. Water measurement manual. 3rd Ed. Denver, 317p.
33. Yasi, M., and Abbaspour, A. 2005. Flow over sharp-crested, truncated-triangular weirs. *Sci. J. Agric.* 28: 2. 165-181. (In Persian)
34. Zahiri, A. 2012. Quasi-two dimensional mathematical model for prediction of flow discharge over compound sharp-crested weirs. *J. Water Soil Cons.* 19: 3. 25-47. (In Persian)
35. Zahiri, A., Tang, X., and Azamatulla, H. 2014. Mathematical modeling of flow discharge over compound sharp-crested weirs. *J. Hydro-Environ. Res.* 8: 3. 194-199.



Laboratory study of flow discharge coefficient for combined system of compound weirs-orifices

E. Shabani¹, *A.R. Zahiri², M. Meftah Halaghi² and A.A. Dehghani²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,

²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 04.12.2017; Accepted: 05.14.2018

Abstract

Background and Objectives: Weirs and orifices (gates) are among the hydraulic structures that are used to control water level and flow discharge, respectively. They are also extensively used for flow discharge measurement. One of the most important reasons for using these structures as measuring instruments is having a simple stage-discharge relationship. Also, in cases where flow is heavily sediment-laden or carries considerable loads and floating objects, the combination of these two structures improves system performance. One of suitable solution that can be used to increase the efficiency of weir-orifice structures is compound weir-orifice. There are very limited investigations in this regard.

Materials and Methods: This study was conducted with the aim of investigating the discharge coefficient for combined compound weir (triangular-rectangular)-orifice structures. The experiments were carried out in a rectangular flume with length of 10 m and width of 0.40 m. In these experiments, triangular notch weirs with angles of 45, 60 and 90 degrees and rectangular orifices were used. The width of rectangular weir in upper section was 40 cm.

Results: The results of this study showed that for compound weirs at all angles, with increasing weir height ratio (relation of head water on compound weir to the weir height), discharge coefficient of compound weir increases. In spite of high variations of head water on the weir as well as triangle weir's angles, variation in discharge coefficient was relatively low and ranges from 0.58-0.61. This fact indicates the importance of precise estimation of discharge coefficient for compound weirs. Furthermore, it was found that by increasing the angle of the triangle weir, the discharge coefficient increases while for compound weir-orifice structure, the discharge coefficient decreases. The opening height of orifice is also effective on the discharge coefficient of combined compound weir-orifice structures so that with increasing of this parameter, discharge coefficient decreases. It is also found that the discharge coefficient of combined compound weir-orifice structures is slightly lower than the discharge coefficient of the compound weirs without orifice.

Conclusion: According to the results obtained in this study, one can properly estimate the discharge coefficient of combined compound weir-orifice structures given the simple data such as geometry of compound weir and orifice and also the flow depth in upstream of the weir and hence, utilize this structure in the main irrigation networks and canals. In this case, the proper control of water surface elevation by compound weir as well as suspended sediment transport through the orifice would be achieved.

Keywords: Combined compound weir-orifice structure, Discharge coefficient, Experimental model, Triangle weir

* Corresponding Author; Email: zahiri.areza@gmail.com