

بررسی آزمایشگاهی رابطه دبی-اشل جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز لبه تیز مستطیلی و روزنه مربعی چندگانه

سمیه بارانی^۱، مهدی زینی وند^{۲*} و مهدی قمشی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۲۱)

چکیده

در این پژوهش به بررسی تأثیر تغییر دو پارامتر تعداد روزنه و ابعاد روزنه، در سازه ترکیبی سرریز لبه تیز مستطیلی همراه روزنه چندگانه، بر میزان دبی عبوری پرداخته شد. برای رسیدن به اهداف این پژوهش، آزمایش‌های لازم در دبی‌های مختلف، تعداد و ابعاد مختلف روزنه انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش تعداد و ابعاد روزنه، در عمق جریان بالادست یکسان، میزان دبی عبوری افزایش می‌یابد. این روند افزایشی در تمامی تعداد و ابعاد آزمایش مورد بررسی دیده شد. در بررسی نتایج کمی دیده شد که دبی عبوری از سازه ترکیبی سرریز - روزنه به ازای افزایش هر روزنه، به‌طور میانگین $۲/۰۶$ لیتر بر ثانیه و با افزایش ابعاد روزنه به ازای هر یک سانتی‌متر $۲/۸۲$ لیتر بر ثانیه بر میزان دبی عبوری افزوده شد. همچنین با محاسبه درصد افزایش دبی عبوری دیده شد که با افزودن هر روزنه، به میزان $۱۸/۷$ درصد و با افزایش ابعاد روزنه به‌اندازه یک سانتی‌متر، دبی عبوری به میزان $۲۸/۱$ درصد افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: سرریز لبه تیز مستطیلی، دبی-اشل، ضریب دبی، سرریز ترکیبی، روزنه چندگانه تحتانی

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m.zeinivand@scu.ac.ir

مقدمه

روش‌های بسیاری برای اندازه‌گیری دبی آب ورودی به کانال‌ها و کنترل سطح آب وجود دارد، در میان این روش‌ها، سرریز و روزنه به‌صورت عمده به علت داشتن روابط ساده، به‌نسبت دقیق و هزینه کمتر در اندازه‌گیری جریان و کنترل سطح آب، بیشتر مورد توجه هستند. استفاده هم‌زمان از هر دو سازه سرریز و روزنه به‌طور گسترده در آزمایشگاه‌ها، صنایع و فرایندهای آبیاری قابل استفاده است. استفاده از سرریزهای لبه تیز با معایبی از نظر آب‌شستگی و رسوب‌گذاری همراه است. تجمع مواد شناور در بالادست سرریز از جمله مشکلات اصلی سازه محسوب می‌شود. در نتیجه منجر به کاهش عملکرد سازه و کاهش دقت اندازه‌گیری دبی می‌شود. علاوه‌بر این، فرایند آب‌شستگی ممکن است ناپایداری کلی ساختار را به خطر اندازد. از این‌رو، ترکیب هر دو سرریز و روزنه در یک ساختار هیدرولیکی، راه‌حلی عملی برای پیشینه کردن مزایای نصب سرریز و روزنه در کانال‌های باز مستقیم در نظر گرفته می‌شود. ساختار ترکیبی سرریز - روزنه به کاهش تجمع رسوبات حمل شده توسط جریان در بالادست سازه کمک می‌کند. همچنین رابطه بین دبی و سطح آب بالادست در درجه اول به شکل و ابعاد سازه بستگی دارد و فقط اندکی به هندسه کانال یا لوله بالادست بستگی دارد (۱۳). ماجچرک (۲۶) ایده ترکیب سازه سرریز و روزنه و عبور جریان هم‌زمان بر روی این دو سازه را برای اولین بار معرفی کرد. احمد (۳) برای دومین بار با آزمایش‌هایی روی یک سرریز مستطیلی همراه با یک دریچه مستطیل شکل، با استفاده از داده‌های تجربی محدود، دستگاه‌های ترکیبی را معرفی کرد. السعید و همکاران (۱۸) اندازه‌گیری جریان ترکیبی با دبی جریان زیاد را در کانال‌های باز بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که ضریب آبگذری سرریز مثلثی - روزنه مستطیلی بزرگ‌تر از ضریب سیستم سرریز مستطیلی - روزنه مثلثی است. الحمید و همکاران (۶ و ۵) برای بار اول معادله خطی برای محاسبه دبی برای هر دو حالت آزاد و جریان مستغرق و دومین بار تأثیر پارامترهای

هندسی و جریان را بر میزان جریان از طریق دستگاه و یک معادله دبی نیمه تجربی پیشنهاد دادند. الحمید (۷) یک جریان ترکیبی بر روی سرریز مثلثی و روزنه مستطیلی منقبض را مطالعه و تجزیه و تحلیل کرد. بر اساس تحلیل ابعادی و با استفاده از تحلیل رگرسیون غیرخطی، معادله دبی برای هر دو جریان روزنه آزاد و غوطه‌ور ایجاد شد. فرو (۱۹) رابطه دبی - اشل سازه ترکیبی سرریز - دریچه را برای هندسه سرریز و دریچه مستطیلی بدون فشردگی در جریان آزاد با استفاده از آنالیز ابعادی و تئوری تشابه ناقص استخراج کرد. هایاوی و همکاران (۲۱) در بررسی جریان ترکیبی آزاد بر روی سرریز مثلثی و دریچه مستطیلی دریافتند که ضریب دبی با زاویه سرریز رابطه عکس دارد و دبی با فاصله‌ی بین سرریز و دریچه نسبت مستقیم دارد. سامانی و مظاهری (۳۱) در مطالعه‌ای که روی جریان ترکیبی بر روی سرریز و زیر دریچه بدون انقباض جانبی، در آزمایشگاه با اعمال شرایط مختلف داشتند برخلاف رویکردهای قبلی مبتنی بر رگرسیون یا تحلیل ابعادی، یک رویکرد را توصیف کردند که قادر به پیش‌بینی رابطه دبی - اشل با دقت معقولی می‌باشد. ایدین و همکاران (۱۰) به بررسی رابطه دبی - اشل در سرریز مستطیلی پرداختند، از نتایج این پژوهش وجود رابطه بین ارتفاع و عرض سرریز با عمق جریان و دبی می‌باشد. برای اندازه‌گیری دقیق عمق روی سرریز، پیشینه سرعت در کانال اندازه‌گیری، باید به 0.55 متر بر ثانیه محدود شود. این محدودیت را می‌توان با افزایش ارتفاع و کاهش نسبت عرض سرریز به‌دست آورد. در سرریزهای مستطیلی دبی بهتر از ضریب دبی فرمول‌بندی می‌شود. بلوچی و زینی‌وند (۱۲) در بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز - روزنه در شرایط سیلابی دریافتند که ضریب دبی با افزایش نسبت‌های بی‌بعد فشار آب روی سرریز به ارتفاع روزنه، فشار آب روی سرریز به عرض روزنه و نسبت فشار آب روی سرریز به فاصله بین بالای روزنه تا رأس مثلث کاهش می‌یابد. نسبت بی‌بعد $\frac{h}{y}$ دارای بیشترین حساسیت و تأثیر است. قره‌گزلو و همکاران (۲۰) به بررسی اثر سرریز بر دبی دریچه در مدل ترکیبی سرریز - دریچه استوانه‌ای پرداختند و

آب بالادست به قطر استوانه کاهش می‌یابد و بر اساس رگرسیون غیرخطی چندگانه رابطه‌ای برحسب پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مؤثر بر ضریب دبی سازه فوق ارائه دادند. حیدرپور و همکاران (۲۲) به بررسی خصوصیات جریان عبوری از سرریز دوزنقه‌ای و دریچه‌ی کشویی مستطیلی لبه تیز پرداختند. ایشان دریافتند که در هر استقرار مدل با افزایش دبی، ارتفاع آب در بالادست مدل و همچنین ضریب دبی افزایش می‌یابد و همچنین ضریب دبی زمانی که سازه سرریز-دریچه در حالت آزاد هستند کمتر از حالت مستغرق است و همچنین با افزایش بازشدگی دریچه ضریب دبی کاهش می‌یابد. صبوری و همکاران (۳۰) در پژوهشی بر روی سرریزهای لبه تیز مرکب با مقطع مستطیلی - مستطیلی از جنس پلکسی گلاس به این نتیجه رسیدند که به ازای مقدار ثابت عمق بر روی سرریز، با افزایش قسمت مرکزی دبی عبوری افزایش می‌یابد زیرا به ازای عمق ثابت بر روی سرریز وقتی عرض قسمت مرکزی افزایش می‌یابد، سطح مقطع افزایش یافته و در نتیجه مقدار دبی عبوری افزایش می‌یابد. در نتیجه تغییر عرض قسمت مرکزی وقتی سرریز به صورت مرکب عمل می‌کند تأثیر قابل توجهی روی ضریب دبی ندارد، وقتی مقطع سرریز ساده عمل می‌کند تغییر عرض تأثیر بیشتری دارد. با افزایش پارامترهای بی‌بعد، ضریب دبی افزایش یافته و سرانجام کاهش می‌یابد و روند تغییرات در هر دو پارامتر بی‌بعد مشابه است. پسرکلو و عمادی (۲۹) در بررسی خصوصیات جریان ترکیبی در سرریز لبه تیز مرکب و دریچه مستطیلی به این نتیجه رسیدند که با افزایش زاویه رأس سرریز، میزان دبی عبوری از مدل‌ها، افزایش می‌یابد همچنین به ازای بار آبی معین با افزایش بازشدگی دریچه، دبی عبوری افزایش ولی ضریب دبی جریان کاهش یافت. ایلخانی پور و همکاران (۳۳) به مطالعه اثرهای متقابل سرریز و دریچه بر مشخصه‌های دبی در سازه جریان ترکیبی سرریز - دریچه پرداخته و دریافتند که ضریب دبی در این سازه ترکیبی در شرایط جریان آزاد با افزایش دبی نسبی دریچه کاهش می‌یابد و تأثیر دبی نسبی دریچه بر ضریب دبی دریچه در سازه جریان

پس از بررسی و تحلیل به این نتیجه رسیدند که جریان عبوری از سرریز بر دبی دریچه اثر می‌گذارد و باعث کاهش ضریب دبی می‌شود. این امر می‌تواند در اثر افزایش عمق آب و ایجاد فشار مثبت در پایین دست دریچه باشد و این روند در حالت استفاده بدون سرریز افزایش می‌باشد. حیدری و همکاران (۲۳) در برآورد دبی جریان در مدل سرریز-دریچه مستطیلی یک رابطه برای پیشگویی جریان ترکیبی بالای سرریزها و زیر دریچه‌ها برای هر دو شرط آزاد و مستغرق دریچه‌ها در زمانی که دارای انقباض همگن و شکل مستطیلی است، استخراج کردند. آلتن سکریا و کوک پینار (۸) به محاسبه دبی برای جریان هم‌زمان روی سرریز و در زیر روزنه پرداختند. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده و بر اساس تجزیه و تحلیل این داده‌ها دو رابطه جدید پیشنهاد کردند. نتایج نشان داد که از معادله‌های پیشنهادی جدید می‌توان برای پیش‌بینی دقیق دبی از طریق سرریزهای مستطیلی - روزنه مستطیلی در مطالعه تجربی استفاده کرد. السعدی (۴) به مطالعه ضریب دبی برای یک جریان آزاد ترکیبی روی سرریز و دریچه در چند حالت پرداخت. نتایج آزمایش‌ها نان داد که بیشترین ضریب دبی برای سرریز نیم‌دایره مرکب و دروازه نیم‌دایره و کمترین ضریب دبی برای سرریز مستطیلی رخ داد. خسف و حبیب (۲۵) در بررسی ویژگی‌های جریان ترکیبی بر روی سرریز دوزنقه‌ای و دریچه مستطیلی شکل، این نتایج برداشت شد که با افزایش فاصله عمودی بین لبه پایینی سرریز و لبه بالایی دریچه ضریب دبی افزایش می‌یابد. هنگامی که زاویه سرریز دوزنقه‌ای برای همان دبی افزایش می‌یابد، عمق جریان روی سرریز کاهش می‌یابد و ضریب دبی افزایش می‌یابد. نادری و همکاران (۲۷) تأثیر فشرده کردن جانب‌های سازه ترکیبی سرریز - دریچه استوانه‌ای را بررسی کردند و دریافتند که ضریب دبی با پارامترهای عمق آب بالادست به قطر استوانه و عمق روی سرریز به عمق آب بالادست و نسبت طول تاج سازه به عرض کانال رابطه‌ی مستقیمی دارد و با کاهش طول تاج سازه به عرض کانال (فشرده‌گی جانبی) نرخ تغییرات ضریب دبی با تغییر پارامتر عمق

ضریب تخلیه از تکنیک‌های شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه (MLP-ANN) و رگرسیون غیرخطی چندگانه (MNL) استفاده شد و این نتیجه حاصل شد که ضریب دبی را می‌توان با استفاده از هوش مصنوعی در مقایسه با تکنیک رگرسیون آماری بهتر پیش‌بینی کرد. خیبر و همکاران (۲) در بررسی استهلاک انرژی و دبی عبوری از دریچه سالونی-بیضوی در شرایط وجود تبدیل ناگهانی دریافتند که دبی عبوری و افت انرژی دریچه سالونی-بیضوی با تبدیل ناگهانی نسبت به شرایط هم عرض کانال به ترتیب در حدود ۲۸ تا ۸۶ درصد کاهش و ۱۱ تا ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. بهره‌بر و همکاران (۱۱) در مطالعه‌ای که روی ترکیب سرریزهای کنگره‌ای با روزنه و تأثیر آن بر ضریب دبی پرداختند، دریافتند از بین مدل‌های سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای-روزنه، مربعی-روزنه و مثلثی-روزنه، بیشترین ضریب دبی مربوط به سرریز کنگره‌ای مثلثی-روزنه است و با افزایش نسبت عمق آب روی تاج سرریز به ارتفاع سرریز برای تمامی مدل‌ها ضریب دبی افزایش می‌یابد. صبوری و همکاران (۳۰) به بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک جریان عبوری از سازه سرریز مرکب مستطیلی-قوس دایره‌ای با تغییرات پارامترهای میزان عمق آب بالادست و ابعاد سازه، در شرایط جریان آزاد و مستغرق پرداختند و دریافتند که پیوستگی در رابطه دبی-اشل در تمامی عمق‌های جریان وجود دارد و همچنین این سرریز در دبی‌های کم و دبی‌های زیاد (زمان‌های سیلابی) کاربرد دارد و دبی عبوری و عمق آب بالادست با افزایش شعاع و ارتفاع سرریز افزایش می‌یابد. همچنین در H/P ثابت ضریب دبی با افزایش شعاع قوس و ارتفاع سرریز افزایش می‌یابد و ضریب دبی در حالت آزاد بیشتر از حالت مستغرق است. دانشفراز و همکاران (۱۶) در مطالعه آزمایشگاهی به بررسی تأثیر کاربرد آستانه هم‌عرض و غیر هم‌عرض بر ضریب دبی در موقعیت‌های مختلف قرارگیری آستانه نسبت به دریچه کشویی، رابطه جدید محاسبه دبی برای آستانه غیر هم‌عرض ارائه دادند. همچنین

ترکیبی ناچیز بوده ولی تأثیر آن بر ضریب دبی سرریز قابل توجه است. ابراهیم شعبانی و همکاران (۳۲) برای بار دوم به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز مرکب-روزنه پرداختند. نتایج نشان داد که برای سازه سرریز مرکب در تمامی زاویه‌های مورد مطالعه، با افزایش ارتفاع نسبی سرریز ضریب دبی سرریز مرکب افزایش می‌یابد. همچنین 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 گفته شده 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. نتایج دیگر این پژوهش این بود که در این سازه زاویه‌ی ۴۵ درجه بزرگ‌ترین ضریب آبگذری را دارد. آذریبوند و همکاران (۲۴) در بررسی آزمایشگاهی تأثیر افزایش طول مؤثر بر دبی عبوری سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل مرکب دریافتند که بیشترین تأثیرات بر ضریب دبی ناشی از تعداد سیکل و نسبت بار هیدرولیکی کل به ارتفاع سرریز است و ایجاد کنگره در بال سرریز باعث افزایش طول مؤثر و مقدار دبی جریان عبوری می‌شود. پارسایی و همکاران (۲۸) به پیش‌بینی ضریب دبی سیستم ترکیبی دریچه سرریز با استفاده از ANN، ANFIS و SVM پرداختند و نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که H/d و y/d مهم‌ترین پارامترها برای پیش‌بینی ضریب دبی هستند. ANN حساس‌ترین مدل در مقایسه با SVM و ANFIS است. الوان و همکاران (۹) ضریب دبی دستگاه ترکیبی متشکل از یک سرریز تاج مستطیلی تیز مجهز به روزنه‌های پایینی را به صورت تجربی و عددی بررسی کردند. نتایج نشان داد مقدار ضریب دبی برای سرریز استاندارد کمتر از سرریز با روزنه‌های پایین بود. همچنین برای مدل‌سازی

با توجه به پژوهش‌های انجام شده در زمینه سازه‌های ترکیبی سرریز-روزنه دیده می‌شود که میزان دبی عبوری از این سازه ترکیبی در حالت روزنه چندگانه بررسی نشده است. لذا در این پژوهش به بررسی دبی عبوری و اشل‌های آن‌ها در سازه ترکیبی سرریز لبه تیز مستطیلی و روزنه مربعی چندگانه پرداخته شد.

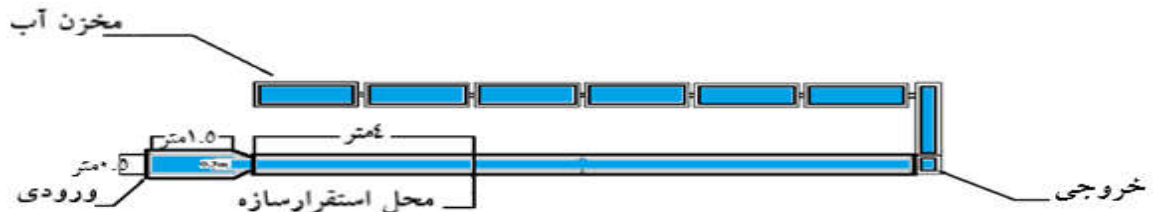
مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در یک فلوم مستقیم شیب‌پذیر به طول، عرض و ارتفاع ۱۲، ۰/۳ و ۰/۵ متر با دیواره‌های از جنس شیشه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد، تصویر شماتیک این فلوم در شکل ۱ دیده می‌شود. فلوم توسط یک پمپ با بیشینه دبی ۱۰۰ مترمکعب بر ساعت تغذیه می‌شود. دبی جریان نیز توسط یک شیر فلکه که بر روی لوله ورودی به فلوم نصب شده بود تنظیم می‌شد.

برای ساخت سرریزهای ترکیبی از ورق‌هایی از جنس فلز گالوانیزه به ضخامت ۰/۷ میلی‌متر ارتفاع و عرض ۳۰ سانتی‌متر همراه با فشردگی جانبی، به‌عنوان سرریز ترکیبی سرریز لبه تیز مستطیلی- روزنه چندگانه استفاده شد. همچنین به‌منظور مقایسه تغییرات دبی این سرریزها نسبت به حالت سرریز بدون روزنه، از یک سرریز با ابعاد ذکر شده در حالت بدون روزنه استفاده شد. مشخصات تمام سرریزها در جدول ۱ ارائه شده است.

گفتنی است مطابق با جدول ۱، در آزمایش‌های این پژوهش سازه ترکیبی سرریز- پنج روزنه با ابعاد ۵×۵ به‌دلیل محدودیت عرض فلوم، برای ساخت روزنه با ابعاد ذکر شده، ساخته نشده است. شرایط پایین‌دست سرریز و روزنه در این پژوهش، شرایط جریان آزاد هستند. برای رسیدن به این هدف، بستر فلوم توسط شیشه‌هایی به طول ۴ متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از کف فلوم بالا آورده شد و سرریزهای ترکیبی در فاصله‌ی ۴ متری از ابتدای فلوم و در انتهای بازه بالا آمده بستر فلوم، قرار داده شد. در شکل ۲ تصویری از محل قرارگیری سازه‌های به‌کار برده شده در این پژوهش دیده می‌شود.

نتایج نشان داد که وجود آستانه زیر دریچه و مماس بر دریچه کشویی در بالادست و پایین‌دست دریچه از نظر افزایش ضریب دبی عملکرد بهتری دارد و بیشترین مقدار ضریب دبی در هنگام وجود آستانه زیر دریچه و مماس بر دریچه کشویی در بالادست و پایین‌دست دریچه، مربوط به مدل مماسی در بالادست دریچه است. دیودار و همکاران (۱۷) به پژوهش در رابطه با جریان عبوری از ساختار هیدرولیکی ترکیبی شامل سرریز لبه تیز مثلثی با روزنه مثلثی به شکل معکوس پرداختند. نتایج ثابت کرد جریان هم‌زمان از طریق ساختار ترکیبی بدون در نظر گرفتن زوایه‌های رأس، دبی بیشتری را به پایین‌دست کمتر منتقل می‌کند. دبی جریان تا ۱۰ برابر افزایش یافت و ضریب دبی برای ساختار ترکیبی با زاویه رأس ۱۲۰ درجه تحت شرایط هیدرولیک مشابه حدود ۲۶ درصد افزایش یافت. دانشفراز و همکاران (۱۴) به بررسی عددی تأثیر پارامترهای هندسی سرریزهای دودکش با زوایه‌های رأس ۷۴ درجه، ۸۴ درجه، ۹۴/۴ درجه، ۱۰۶ درجه و ۱۱۶ درجه در دو ارتفاع تاج بر ضریب دبی پرداختند. بر اساس نتایج به‌دست آمده، میزان دبی برای سرریزهای مختلف با یکدیگر متفاوت بود، به‌طوری که با کاهش زاویه رأس سرریز، دبی افزایش و ضریب دبی کاهش می‌یابد و با افزایش دبی و ارتفاع تاج، مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد. عباس زاده و همکاران (۱) به بررسی مشخصات هیدرولیکی در دهانه‌های مختلف دریچه پرداختند و نتایج نشان داد، اتلاف انرژی با افزایش دهانه در نهایت تا ۳۴/۸۸ درصد کاهش می‌یابد. همچنین آستانه منجر به کاهش انرژی ویژه در عمق مزدوج جریان می‌شود. دانشفراز و همکاران (۱۵) به بررسی پارامترهای هیدرولیکی شیرهای کشویی استاندارد و لایبرنتی در حالت غیر آستانه و با تغییر عرض آستانه پرداختند و نتایج این پژوهش بیان کرد عامل مهمی که بر ضریب دبی در شرایط هیدرولیکی ثابت تأثیر می‌گذارد، شکل لبه شیر می‌باشد و ضریب دبی در استفاده ترکیبی از شیر کشویی هزارتویی با آستانه در عرض‌های مختلف نسبت به شیر کشویی استاندارد افزایش یافت.

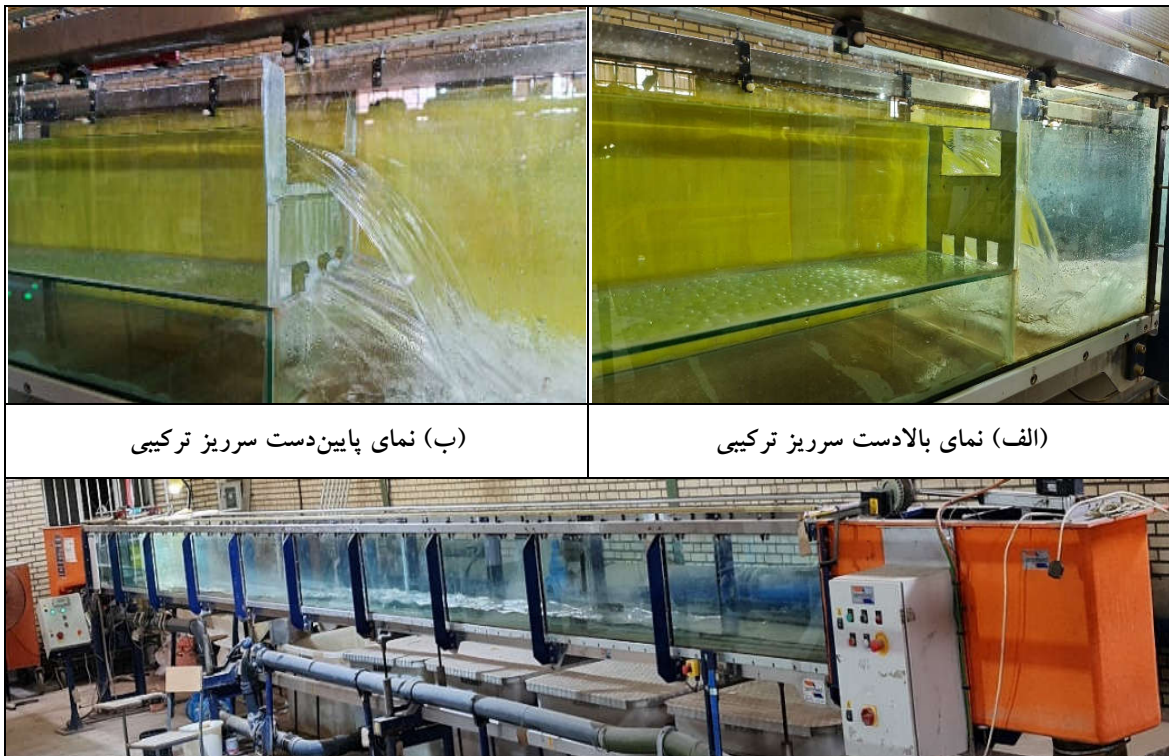


شکل ۱. شماتیک فلوم مورد استفاده

جدول ۱. مشخصات سرریزهای استفاده شده در این پژوهش

سرریز	تعداد روزنه	ابعاد روزنه مربعی شکل (سانتی متر)	ارتفاع سرریز (سانتی متر)	عرض دهانه آبگذری سرریز (سانتی متر)	عرض فلوم (سانتی متر)
سرریز شاعمق	صفر	بدون روزنه	۱۵	۲۰	۳۰
سرریز تک روزنه	۱	۵×۵, ۴×۴, ۳×۳, ۲×۲	۱۵	۲۰	۳۰
سرریز دو روزنه	۲	۵×۵, ۴×۴, ۳×۳, ۲×۲	۱۵	۲۰	۳۰
سرریز سه روزنه	۳	۵×۵, ۴×۴, ۳×۳, ۲×۲	۱۵	۲۰	۳۰
سرریز چهار روزنه	۴	۵×۵, ۴×۴, ۳×۳, ۲×۲	۱۵	۲۰	۳۰
سرریز پنج روزنه	۵	۴×۴, ۳×۳, ۲×۲	۱۵	۲۰	۳۰

۲۰ تعداد کل



(ب) نمای پایین دست سرریز ترکیبی

(الف) نمای بالادست سرریز ترکیبی

شکل ۲. فلوم آزمایشگاهی و سرریز ترکیبی استفاده شده

چسبانده شدند و پس از تنظیم دبی و ثابت شدن جریان، عمق سنج در فاصله تعیین شده در بالادست سرریز مستقر شد و ارتفاع جریان بالادست سرریز اندازه گیری شد و هم زمان دبی هم توسط دبی سنج ثبت شد. تمامی این مراحل برای همه ی سرریزهای بیان شده در جدول ۱ تکرار شد. نتایج در ادامه ارائه می شوند.

نتایج و بحث

با تغییر سرریزهای ترکیبی استفاده شده در این پژوهش، فقط تعداد و ابعاد روزنه تغییر می کند. لذا تأثیر تغییر تعداد و ابعاد روزنه بر تغییر میزان دبی عبوری بررسی شد. برای انجام این کار ابتدا به نتایج آزمایش های شاهد (جدول ۱) اشاره می شود. در تمامی مراحل پژوهش، ترازهای (اشل) معرفی شده در جدول ۱، به منظور شاهد در محاسبات اشل و ترسیم نمودارها، استفاده شد.

پس از انجام هر آزمایش توسط سرریز مورد نظر در دبی های مختلف، رابطه بین دبی جریان و عمق جریان در بالادست سرریز، با استفاده از نرم افزار SPSS-25 مطابق ساختار فرمول شماره (۱) استخراج شد.

$$Q = aH^b + cH \quad (1)$$

در رابطه فوق Q دبی جریان بر حسب لیتر بر ثانیه و H ارتفاع کل جریان بالادست سرریز بر حسب سانتی متر است. پس از انجام تمامی آزمایش ها، معادله (۱) برای هر سرریز به صورت جداگانه استخراج شد و ضرایب a ، b و c استخراج شدند که نتایج در جدول ۳ دیده می شوند.

برای رسیدن به اهداف اصلی این پژوهش، یعنی بررسی روند تغییر میزان آگذری با تغییر اندازه و ابعاد روزنه در سرریز لبه تیز مستطیلی، ارتفاع های سرریز شاهد (سرریز بدون روزنه) در معادلات جدول ۳ قرار گرفت و دبی متناظر با این عمق به دست آمد. در واقع با این اقدام، با ثابت نگه داشتن عمق جریان در حالت بدون روزنه و با روزنه، میزان آگذری در دو حالت محاسبه شد. در ادامه دبی آزمایش های شاهد با Q_c و دبی

ابزارهای استفاده شده در این پژوهش دبی سنج التراسونیک و عمق سنج هستند. دبی جریان با استفاده از دبی سنج اولتراسونیک با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه و عمق جریان در بالادست سرریز با استفاده از عمق سنج دیجیتال با دقت ۰/۱ میلی متر اندازه گیری شد. نخست سرریز لبه تیز مستطیلی بدون روزنه که در این آزمایش به عنوان آزمایش شاهد نیز قرار داده شده است و در جدول ها و محاسبات با Q_c (Control) نشان داده می شود، به وسیله ی چسب آکواریوم در فاصله ی ۴ متری از ابتدای فلوم قرار داده شد و پس از خشک شدن و آب بندی سازه، پمپ روشن و شرایط جریان در بالادست سرریز ترکیبی ثابت شد. سپس عمق جریان در بالادست سرریز به وسیله عمق سنج، که در فاصله ی ۴۰ سانتی متری از سرریز قرار داده می شد، اندازه گیری شد. برای جلوگیری از انتقال تلاطم های سطح آب، در بدو ورود جریان به فلوم از لایه پوشالی با فشردگی مناسب استفاده شد که جریان پس از عبور از آن با کمترین نوسان سطح آب وارد فلوم شد. نتایج اندازه گیری شده در این سری از آزمایش ها (آزمایش با سرریز شاهد) در جدول ۲ دیده می شوند. در جدول ۲، n معرف تعداد روزنه، L اندازه و ابعاد روزنه است که به دلیل اینکه سرریز شاهد بدون روزنه است این مقادیر در جدول ۲ بدون عدد هستند. Q_c معرف دبی جریان بر روی سرریز بدون روزنه (سرریز شاهد) است اعماق بالادست متناظر با این دبی ها در این پژوهش به عنوان شاهد برای انجام محاسبات قرار می گیرد. پارامتر Y_{up} عمق جریان روی سرریز بدون روزنه که در آزمایش ها توسط پوینت گیج برداشت شد و H_c بیانگر عمق کل جریان بالادست سرریز بدون روزنه است که حاصل جمع عمق جریان بر روی سرریز (Y_{up}) و ارتفاع سرریز (۱۵ سانتی متر) است. پس از برداشت داده های مربوط به سرریز بدون روزنه، سازه ها به ترتیب از تک روزنه، دو روزنه، سه روزنه، چهار روزنه و پنج روزنه با ابعاد ۲×۲، ۳×۳، ۴×۴، ۵×۵ یکی پس از دیگری توسط چسب آکواریوم در محدوده مورد نظر

جدول ۲. داده‌های سرریز بدون روزنه

n	L×L	Q _c (L/s)	Y _{up} (cm)	H _c (cm)
–	◦	۷/۴	۷/۹	۲۲/۹
–	◦	۱۰/۴	۹/۹	۲۴/۹
–	◦	۱۳/۴	۱۱/۹	۲۶/۹
–	◦	۱۶/۴	۱۳/۶	۲۸/۶

جدول ۳. پارامترهای موجود در رابطه ۱

تعداد روزنه	ابعاد روزنه	a	b	C	R ²
۱	۲×۲	۰/۰۳۱	-۰/۰۴	-۷/۶	۱
	۳×۳	۰/۰۵۲	-۱/۰۵	۵/۲	۱
	۴×۴	۰/۰۳۱	۰/۰۳	-۷/۶	۱
	۵×۵	۰/۰۷۲	-۱/۹۵	۱۷/۱	۱
۲	۲×۲	۰/۰۲۹	۰/۰۵	-۸/۰	۱
	۳×۳	۰/۰۲۰	۰/۵۶	-۱۳/۰	۰/۹۹۹۲
	۴×۴	۰/۰۳۵	-۰/۱۳	-۳/۸	۰/۹۹۹۴
	۵×۵	۰/۰۳۷	-۰/۱۰	-۲/۹	۱
۳	۲×۲	۰/۰۱۶	۰/۶۲	-۱۳/۸	۱
	۳×۳	۰/۰۴۰	-۰/۴۹	۱/۴	۰/۹۹۹۹
	۴×۴	۰/۰۲۷	۰/۳۷	-۹/۱	۰/۹۹۹۸
	۵×۵	۰/۰۳۴	۰/۲۷	-۶/۵	۰/۹۹۷۷
۴	۲×۲	-۰/۰۰۲	۱/۴۶	-۲۳/۰	۰/۹۹۹
	۳×۳	۰/۰۱۹	۰/۵۷	-۱۰/۹	۱
	۴×۴	-۰/۰۱۱	۲/۱۲	-۲۶/۶	۰/۹۹۹۸
	۵×۵	۰/۱۲۲	-۳/۴۲	۳۵/۴	۱
۵	۲×۲	۰/۰۰۰	۱/۳۹	-۲۱/۸	۰/۹۹۹۹
	۳×۳	-۰/۰۰۲	۱/۵۸	-۲۱/۸	۰/۹۹۶۸
	۴×۴	-۰/۱۷۱	۹/۸۳	-۱۱۶/۷	۱

تغییر در ابعاد روزنه افزایش می‌یابد. به‌منظور بررسی کمی داده‌ها که چه میزان دبی در ترازهای ثابت، در مقایسه با دبی عبوری از سرریز بدون روزنه (شاهد) عبور داده می‌شود، ابتدا از رابطه (۲) میزان افزایش دبی عبوری محاسبه شد و سپس نمودارهای کیفی شکل ۵ ترسیم شد

در هر نمودار شکل ۵، عمق (H_c)، ثابت در نظر گرفته شده است و به ازای افزایش هر روزنه در هر سرریز با ابعاد روزنه 2×2 ، 3×3 ، 4×4 و 5×5 میزان آبگذری در مقایسه با سرریز بدون روزنه افزایش می‌یابد. در نمودارهایی که در ادامه روند آن دیده می‌شود تفاضل بین دبی آزمایشگاهی با دبی محاسباتی را با تغییر ابعاد روزنه L در اشل ثابت H_c نشان می‌دهند. در بررسی روند تفاضل بین Q_c و Q_{eq} در عمق‌های ثابت با افزایش ابعاد روزنه به ازای هر یک سانتی‌متر، در نمودارهای شکل ۶ دیده می‌شود که دبی عبوری از سازه‌های روزنه‌دار به نسبت دبی سرریز بدون روزنه افزایش می‌یابد. در تحلیل کمی نتایج روند تفاضلات بین دبی محاسباتی با دبی سرریز شاهد و محاسبه مقدار دقیق دبی عبوری به ازای افزودن هر روزنه به سازه ترکیبی سرریز- روزنه جدول ۴ استخراج شد. در جدول ۴ هر مقدار معرف میانگین افزایش دبی به ازای افزودن هر روزنه به تمامی سازه‌ها در عمق‌های ثابت و ابعاد ثابت می‌باشد. در $H_c 1$ به‌طور میانگین $1/92$ لیتر بر ثانیه به ازای افزودن هر روزنه به سازه بر دبی افزوده می‌شود. در عمق ثابت $H_c 2$ در سازه‌ها به ازای افزودن هر روزنه در ابعاد متفاوت به‌طور میانگین $2/08$ لیتر بر ثانیه به دبی عبوری افزوده می‌شود.

همچنین در عمق ثابت $H_c 3$ با افزوده شدن روزنه‌ها به سازه‌ها دبی $2/14$ لیتر بر ثانیه افزایش داشته است و در عمق ثابت $H_c 4$ با افزایش هر روزنه به سازه‌ها دبی به‌طور متوسط به اندازه $2/10$ لیتر بر ثانیه افزایش داشته است. که با تغییر عمق به‌طور میانگین $2/06$ لیتر بر ثانیه به ازای افزودن هر روزنه به سرریز در تمامی سازه‌ها به دبی افزوده می‌شود. همچنین در

محاسباتی به‌دست آمده در آزمایش‌های با روزنه، متناظر با اعماق آزمایش‌های شاهد، با Q_{eq} (equation) نشان داده می‌شوند. برای انجام محاسبات ابتدا تفاضل این دو طبق رابطه (۲) میزان دبی به‌دست آمد.

$$\Delta Q = Q_{eq} - Q_c \quad (2)$$

که در رابطه فوق ΔQ تفاضل بین دبی شاهد با دبی محاسباتی است. در واقع این میزان تفاضل بیانگر این است که در تراز ثابت، میزان دبی عبوری، به خاطر عبور مقداری از جریان از روزنه‌ها، چه میزان افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از آن، در بخش اول نتایج مورد بررسی قرار داده شده است. برای انجام محاسبات درصد افزایش دبی عبوری این بخش از رابطه (۲) استفاده شد.

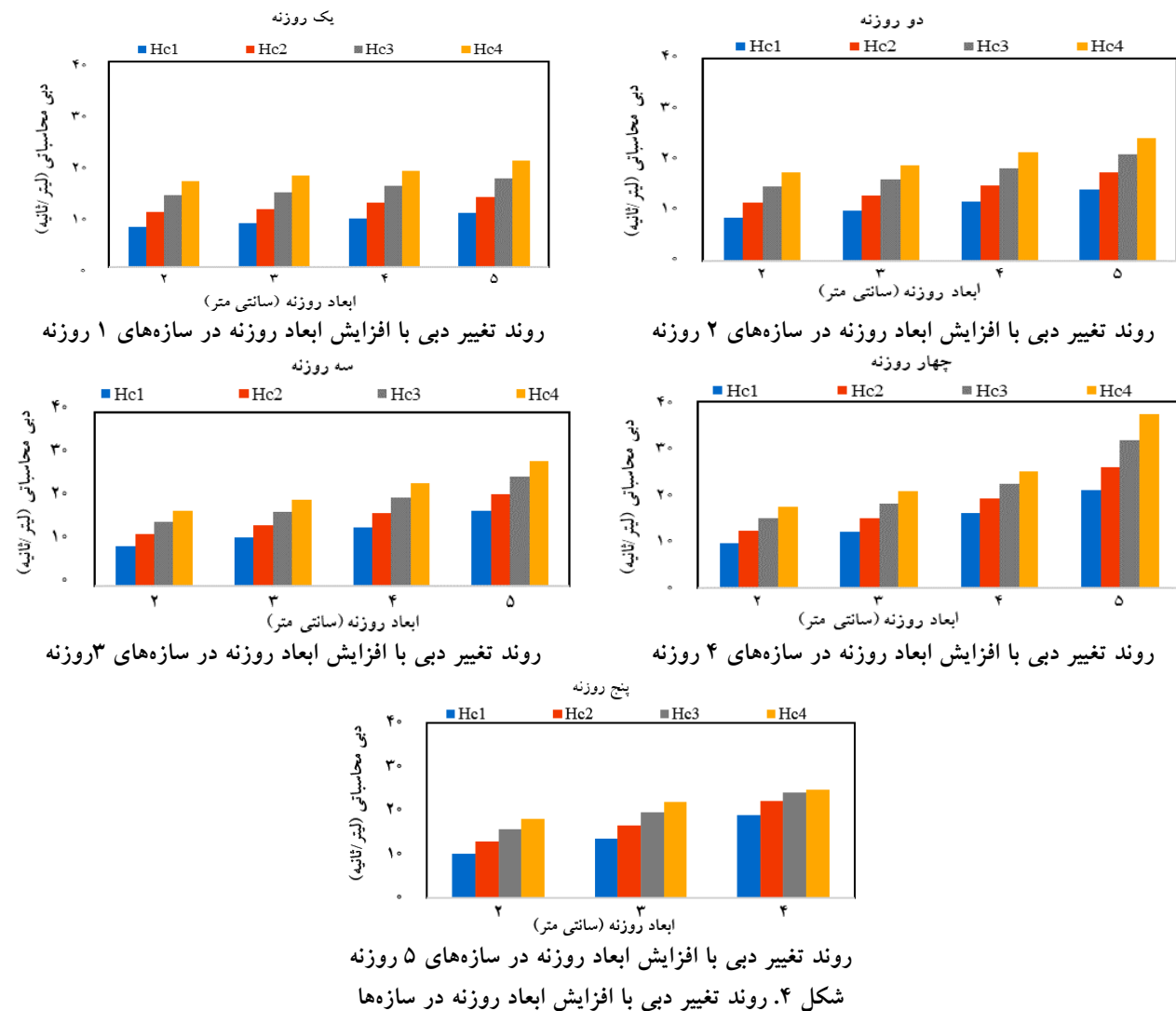
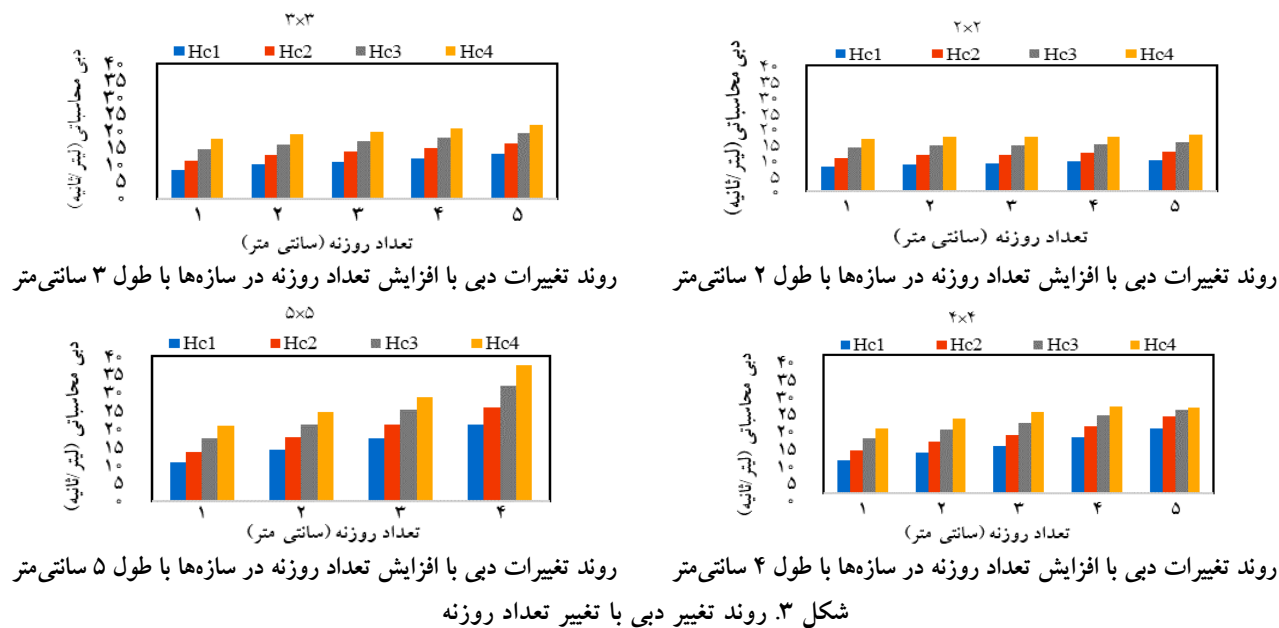
$$\%Q = \frac{Q_{eq} - Q_c}{Q_c} \times 100 \quad (3)$$

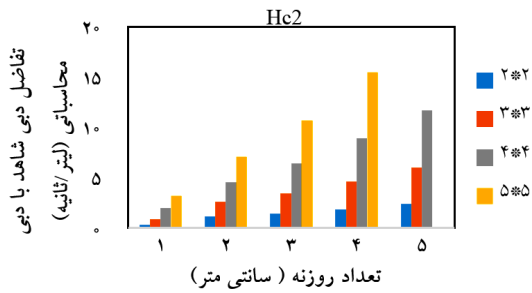
در این رابطه (Q_{eq}) دبی حاصل از رابطه (۱) و (Q_c) دبی‌های برداشت شده در آزمایشگاه مربوط به سرریز بدون روزنه برحسب لیتر بر ثانیه هستند.

همان‌گونه بیان شد در این پژوهش نمودارهای مربوط به دو پارامتر تغییر دبی و نیز درصد افزایش دبی ترسیم شد. در این نمودار محور افقی تعداد روزنه و محور عمودی دبی‌های حاصل از فرمول (۱) است، در هر نمودار ابعاد ثابت و تعداد روزنه تغییر داده شده است که نمودارهای حاصل از آن دیده می‌شود.

در بررسی نمودارهای شکل ۳ دیده می‌شود که با افزایش تعداد روزنه و با تغییر ترازها، به ازای افزوده شدن هر روزنه به سازه ترکیبی، دبی عبوری از سرریز- روزنه به نسبت سرریز بدون روزنه افزایش می‌یابد. در ادامه نیز بررسی روند تغییرات دبی عبوری از سرریز - روزنه با افزایش ابعاد روزنه، در روزنه‌های ثابت و تغییر در ترازها دیده می‌شود.

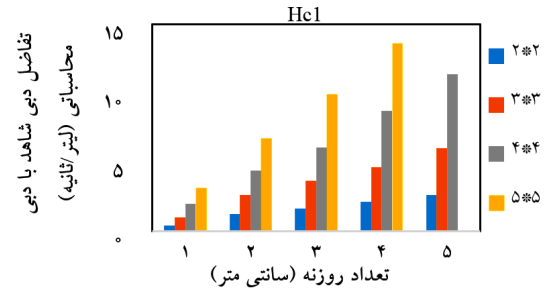
در منحنی‌های شکل ۴ محور افقی ابعاد روزنه و محور عمودی دبی حاصل از رابطه (۱) است. با تغییر ترازها و ثابت در نظر گرفتن تعداد روزنه‌ها دبی عبوری از سرریز - روزنه با





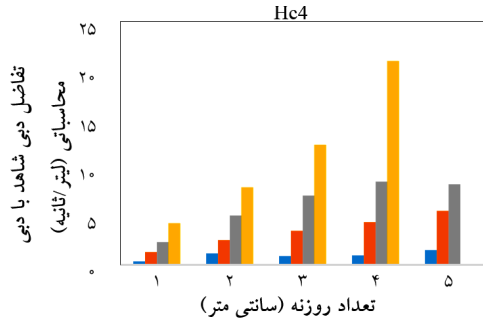
تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش تعداد روزنه

در سازه‌ها در تراز ثابت Hc2



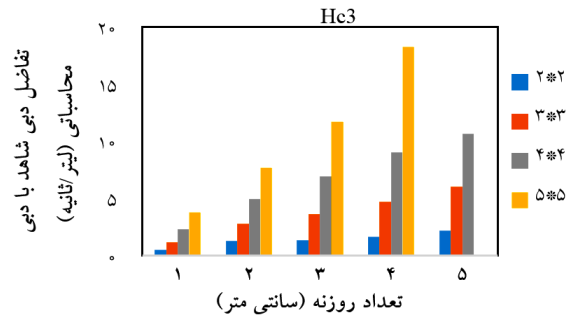
تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش تعداد روزنه

در سازه‌ها در تراز ثابت Hc1



تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش تعداد روزنه

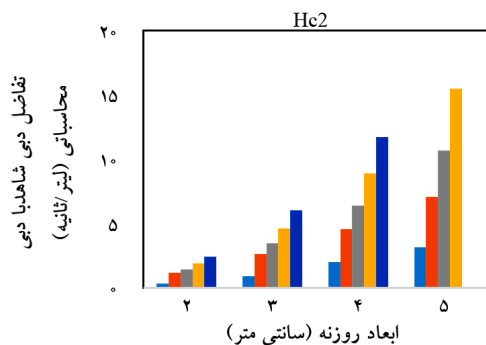
در سازه‌ها در تراز ثابت Hc4



تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش تعداد روزنه

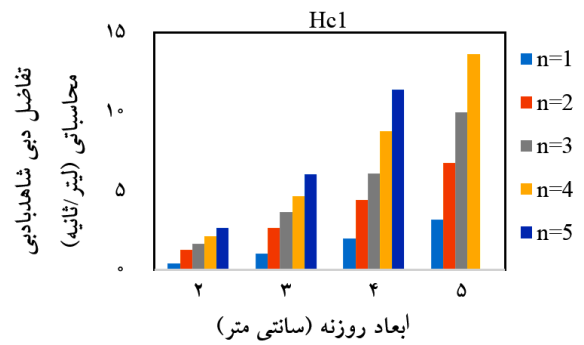
در سازه‌ها در تراز ثابت Hc3

شکل 5. روند تفاضل دبی محاسباتی با دبی سرریز شاهد با تغییر تعداد روزنه



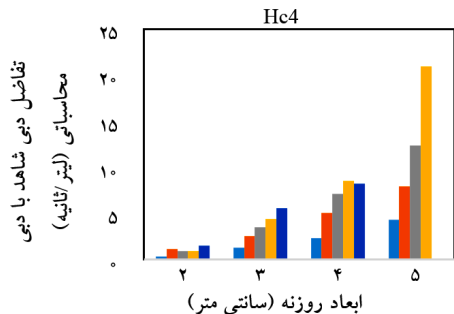
تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش ابعاد روزنه

در سازه‌ها در تراز ثابت Hc2



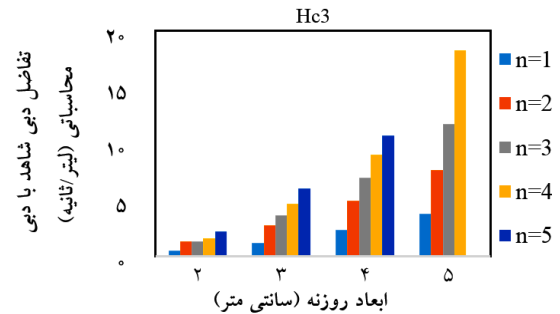
تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش ابعاد روزنه در

سازه‌ها در تراز ثابت Hc1



تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش ابعاد روزنه

در سازه‌ها در تراز ثابت Hc4



تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با افزایش ابعاد روزنه در

سازه‌ها در تراز ثابت Hc3

شکل 6. روند تفاضل دبی شاهد با دبی سرریز محاسباتی با تغییر ابعاد روزنه

جدول ۴. روند کمی تفاضل دبی‌های محاسباتی با دبی‌های سرریز شاهد با تغییر تعداد روزنه

اشل	ابعاد روزنه (سانتی‌متر)	تفاضل دبی محاسباتی با شاهد (لیتر/ثانیه)	اشل	ابعاد روزنه (سانتی‌متر)	تفاضل دبی محاسباتی با شاهد (لیتر/ثانیه)
Hc1	۲×۲	۰/۵۵	Hc3	۲×۲	۰/۴۲
	۳×۳	۱/۲۶		۳×۳	۱/۲۱
	۴×۴	۲/۳۵		۴×۴	۲/۰۹
	۵×۵	۳/۵۰		۵×۵	۴/۸۳
Hc2	۲×۲	۰/۵۲	Hc4	۲×۲	۰/۲۹
	۳×۳	۱/۲۹		۳×۳	۱/۰۶
	۴×۴	۲/۴۲		۴×۴	۱/۴۹
	۵×۵	۴/۱۰		۵×۵	۵/۵۶

عبوری از سرریز-روزنه با افزایش تعداد روزنه دیده می‌شود. در تحلیل نمودارهای شکل ۷ دیده می‌شود که در ابعاد ثابت و با ثابت در نظر گرفتن عمق‌ها درصد افزایش دبی با افزایش تعداد روزنه‌ها افزایش می‌یابد. اما همان‌طور که در نمودارها دیده می‌شود با تغییر عمق، از عمق کمتر Hc1 به عمق بیشتر Hc4 با تغییر تعداد روزنه درصد افزایش دبی عبوری کاهش می‌یابد. در عمق Hc1 و در دبی کمتر، بیشترین درصد افزایش دبی عبوری دیده می‌شود. در بررسی روند تغییرات درصد افزایش دبی در روزنه‌های ثابت و عمق‌های متفاوت نسبت به سرریز بدون روزنه با افزایش طول نسبی $\left(\frac{L}{B}\right)$ نیز نمودارهای شکل ۸ استخراج شد. در تحلیل نمودارهای شکل ۸ نیز دیده می‌شود که درصد افزایش دبی عبوری از روی سرریز-روزنه نسبت به سرریز در حالت بدون روزنه (سرریز شاهد) در عمق ثابت با افزایش ابعاد افزایش می‌یابد. همچنین با تغییر عمق از عمق کمتر به عمق بیشتر درصد افزایش دبی کاهش می‌یابد.

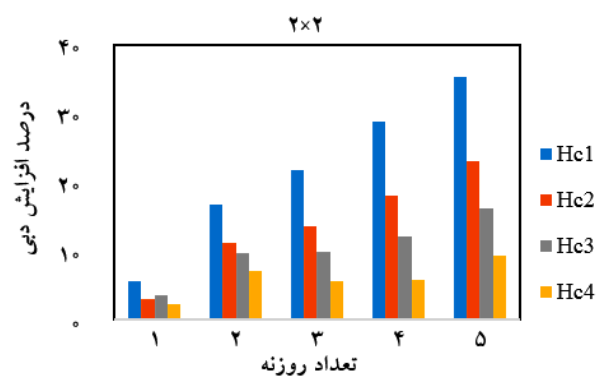
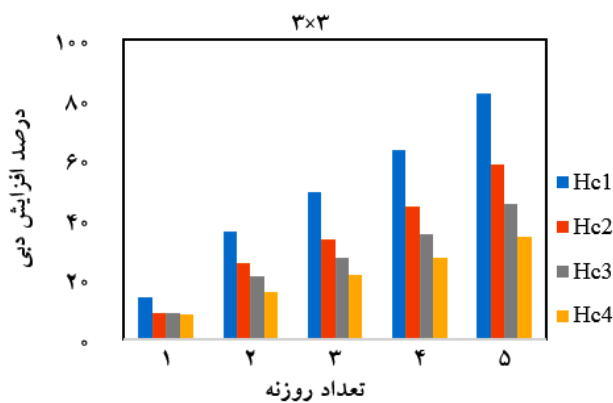
در بررسی کمی درصد افزایش دبی، از درصد دبی‌های محاسباتی متوسط حسابی انجام شد. به‌طور تقریبی درصد افزایش دبی در تمامی آزمایش‌ها یک بار با افزایش ابعاد در

تحلیل کمی داده‌های مربوط به روند تفاضل دبی‌ها با افزایش ابعاد روزنه L در ترازهای ثابت، جدول ۵ استخراج شد. در سازه‌های ترکیبی سرریز-روزنه در عمق ثابت Hc1 به ازای افزودن هر یک سانتی‌متر به طول و عرض روزنه‌های مربعی به‌طور میانگین ۲/۲۶ لیتر بر ثانیه به دبی عبوری از سازه‌های روزنه‌دار افزوده می‌شود و این مقدار در عمق ثابت Hc2 به میزان ۲/۶ لیتر بر ثانیه به ازای افزودن هر یک سانتی‌متر به طول و عرض روزنه افزایش می‌یابد و در عمق Hc3 به ازای هر سانتی‌متر افزایش طول و عرض اضلاع مربعی روزنه به‌طور میانگین ۳ لیتر بر ثانیه به دبی عبوری از سازه‌های ترکیبی افزوده می‌شود و در عمق ثابت Hc4 با افزایش ابعاد روزنه در سازه‌های ترکیبی ۳/۵ لیتر بر ثانیه به ازای هر سانتی‌متر افزایش ابعاد روزنه دبی افزوده می‌شود. همچنین در سازه‌ها با تغییر ابعاد روزنه و تغییر عمق‌ها از بازه Hc4-Hc1 به ازای هر سانتی‌متر افزودن به اضلاع روزنه‌های مربع شکل، دبی به‌طور میانگین به میزان ۲/۸۲ لیتر بر ثانیه افزوده می‌شود.

در نمودارهای شکل ۷ به بررسی درصد افزایش دبی پرداخته شده است که روند تغییرات درصد افزایش دبی

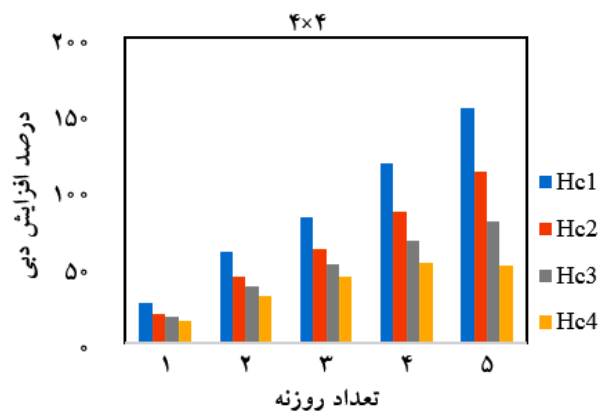
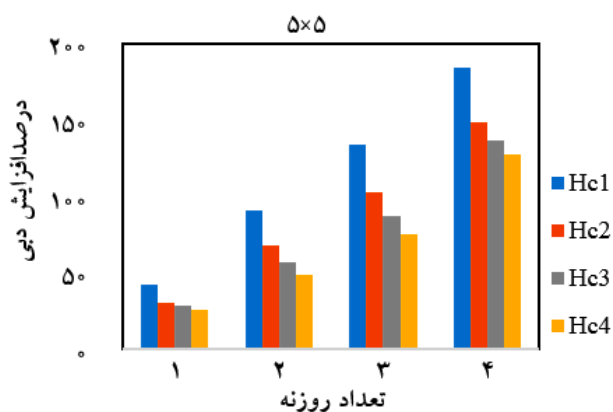
جدول ۵. روند کمی تفاضل دبی‌های محاسباتی با دبی‌های سرریز شاهد با تغییر در ابعاد روزنه

اشل	تفاضل دبی در سازه‌ها با ابعاد روزنه ۲×۲	تفاضل دبی در سازه‌ها با ابعاد روزنه ۳×۳	تفاضل دبی در سازه‌ها با ابعاد روزنه ۴×۴	تفاضل دبی در سازه‌ها با ابعاد روزنه ۵×۵
Hc1	۱/۶۱	۳/۶۰	۶/۵۳	۸/۳۸
Hc2	۱/۴۴	۳/۵۳	۶/۷۳	۹/۱۱
Hc3	۱/۳۹	۳/۶۶	۶/۷۹	۱۰/۳۷
Hc4	۰/۹۹	۳/۴۸	۶/۲۸	۱۱/۴۱



روند تغییرات درصد افزایش دبی با افزایش تعداد روزنه در سازه‌ها با طول ۳ سانتی‌متر

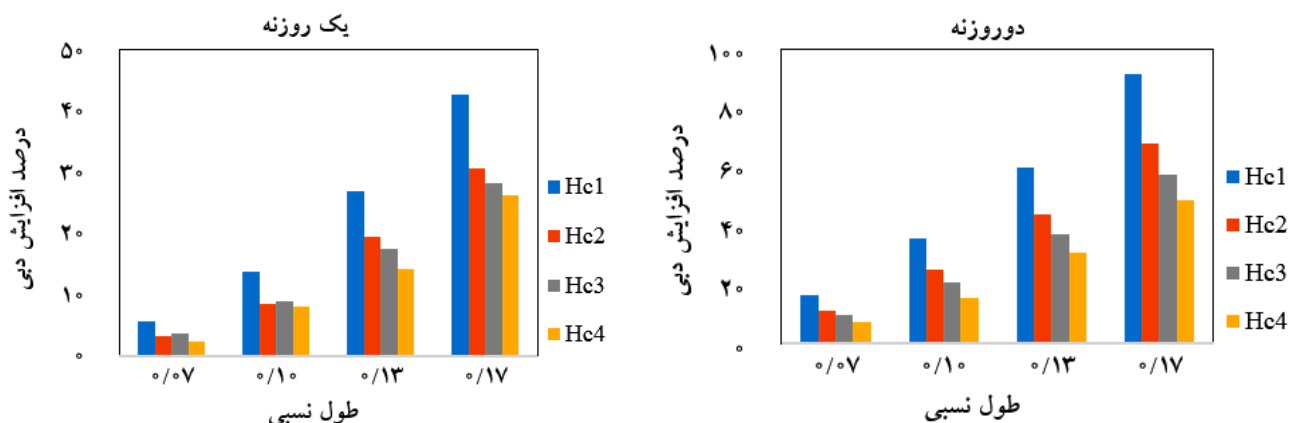
روند تغییرات درصد افزایش دبی با افزایش تعداد روزنه در سازه‌ها با طول ۲ سانتی‌متر



روند تغییرات درصد افزایش دبی با افزایش تعداد روزنه در سازه‌ها با طول ۵ سانتی‌متر

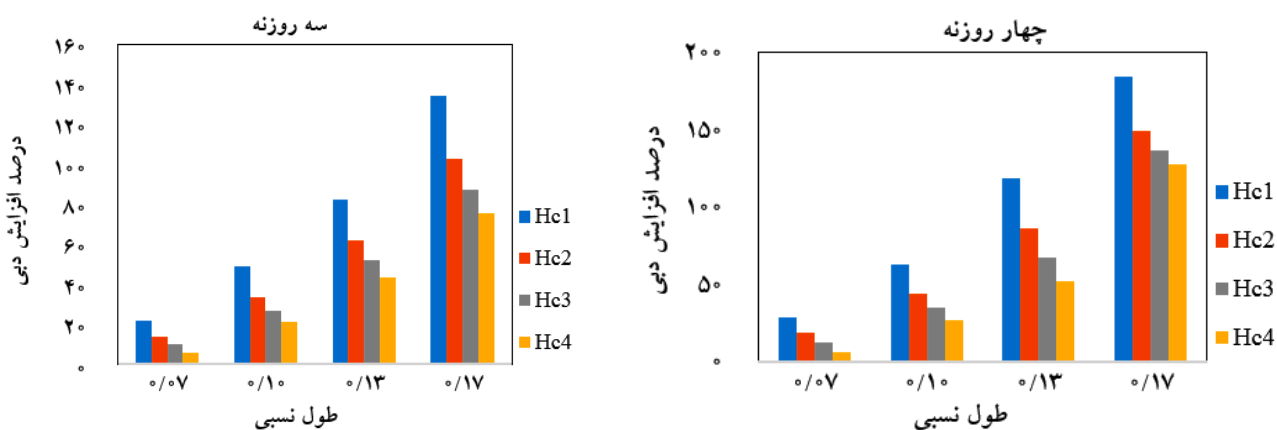
روند تغییرات درصد افزایش دبی با افزایش تعداد روزنه در سازه‌ها با طول ۴ سانتی‌متر

شکل ۷. روند تغییر درصد دبی با تغییر تعداد روزنه



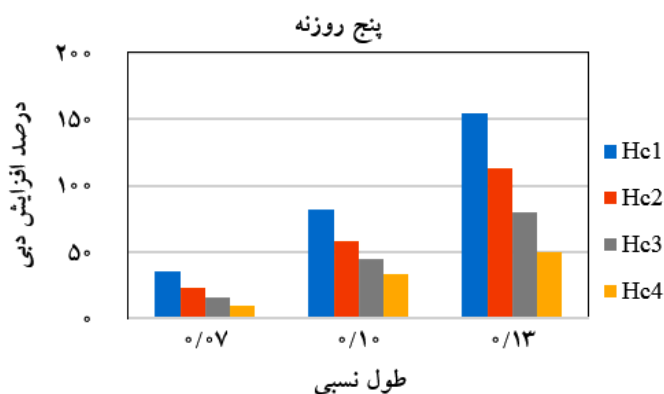
روند تغییر درصد افزایش دبی با افزایش طول نسبی در سازه‌های ۱ روزنه

روند تغییر درصد افزایش دبی با افزایش طول نسبی در سازه‌های ۲ روزنه



روند تغییر درصد افزایش دبی با افزایش طول نسبی در سازه‌های ۳ روزنه

روند تغییر درصد افزایش دبی با افزایش طول نسبی در سازه‌های ۴ روزنه



روند تغییر درصد دبی با افزایش طول نسبی در سازه‌های ۵ روزنه

شکل ۸. روند تغییر درصد افزایش دبی با افزایش طول نسبی در سازه‌ها

مطابق با جدول ۶ به‌طور میانگین درصد افزایش دبی با افزایش تعداد روزنه در دبی‌های متفاوت و اشلهای متفاوت با ابعاد ثابت ۱۸/۷ درصد به ازای افزودن هر روزنه به سازه

عمق‌های تعیین‌شده و یک بار با افزایش تعداد روزنه در همان عمق‌ها محاسبه شد که نتایج بررسی کمی درصد افزایش دبی با افزایش تعداد روزنه در **جدول ۶** دیده می‌شود.

جدول ۶. بررسی کمی درصد افزایش دبی با تغییر ابعاد

میانگین کلی	ابعاد روزنه	درصد افزایش دبی با افزودن هر روزنه به سازه در ابعاد و اشل‌های متفاوت
	۲×۲	۴,۳۶
	۳×۳	۱۱,۲۴
۱۸,۶۸	۴×۴	۱۹,۹۵
	۵×۵	۳۹,۱۸

صورت گرفته جریان از دریچه تحتانی عبور داده شده است و داده‌های مربوط به این مطالعه استخراج شد و با داده‌های پژوهش حاضر مقایسه شد که نتیجه حاصل، در شکل ۱۰ دیده می‌شود. در این مقایسه دبی عبوری در حالت دریچه به‌تنهایی (بدون سرریز) کمتر از دبی عبوری در پژوهش حاضر است. علت این امر نیز عبور جریان از روی سرریز همراه روزنه در پژوهش حاضر است که در مطالعه دانش‌فراز و همکاران (۱۶) از سرریز استفاده نشده است و دبی عبوری کمتری دیده شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مجموعه‌ای از آزمایش‌ها به‌منظور بررسی روند تغییرات دبی در سرریز لبه تیز مستطیلی - روزنه مربعی چندگانه در شرایط جریان آزاد صورت گرفت در بررسی تغییرات دبی عبوری در سازه‌های ترکیبی سرریز- روزنه با افزایش تعداد بازشدگی‌ها با تغییر عمق به‌طور میانگین ۲/۰۶ لیتر بر ثانیه به ازای افزودن هر روزنه به سرریز در تمامی سازه‌ها به دبی افزوده می‌شود. همچنین در سازه‌ها با تغییر ابعاد روزنه و تغییر عمق‌ها از بازه H_c4-H_c1 به ازای هر سانتی‌متر افزودن به اضلاع روزنه‌های مربع شکل، دبی به‌طور میانگین به میزان ۲/۸۲ لیتر بر ثانیه افزوده می‌شود. درصد افزایش دبی با تغییر در تعداد روزنه‌ها به ازای افزودن هر روزنه، ۱۸/۷ درصد و با تغییر ابعاد روزنه به‌طور متوسط ۲۸/۱ درصد افزایش داشته است. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که در ابعاد ثابت، با افزایش تعداد روزنه‌ها و افزایش ابعاد روزنه در عمق‌های ثابت

افزایش می‌یابد. همچنین در جدول ۷ درصد افزایش دبی با افزایش ابعاد روزنه در همه ابعاد دیده می‌شود.

درصد افزایش دبی عبوری از سرریز- روزنه با افزایش پارامتر طول نسبی به‌طور متوسط ۲۸/۱ درصد می‌باشد. پیرو این نتایج به‌طور اختصاصی به بررسی درصد افزایش دبی با افزایش دبی پرداخته شد و نمودارهای شکل ۹ استخراج شد.

از تحلیل منحنی‌های شکل ۹ این نتیجه برداشت می‌شود که در یک دبی ثابت با تغییر ابعاد روزنه و افزایش عمق درصد افزایش دبی عبوری افزایش می‌یابد و بیشترین درصد افزایش دبی مربوط به دبی کمتر می‌باشد و همچنین با تغییر دبی از دبی کمتر به دبی‌های بیشتر درصد افزایش دبی کاهش می‌یابد و در نتیجه وقتی در سازه‌های ترکیبی روزنه قرار داده می‌شود در دبی‌های بیشتر از روزنه‌ها دبی کمتری در مقایسه با زمانی که دبی کمتر است عبور داده می‌شود. در نتیجه به‌طور کلی با افزایش Q درصد افزایش دبی عبوری کاهش پیدا می‌کند (در این بررسی از داده‌های مربوط به سازه‌های پنج روزنه به‌دلیل نبود سازه ترکیبی با ابعاد روزنه ۵×۵ استفاده نشده است).

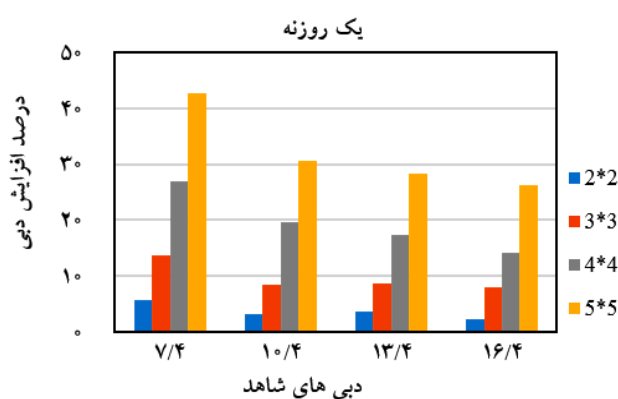
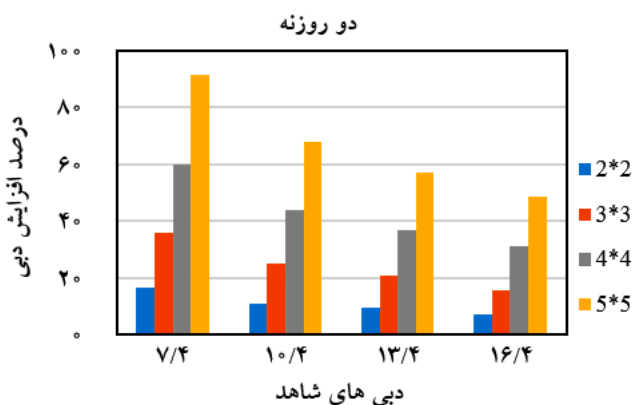
در جدول ۸ برای درک بهتر محاسبات روند تغییرات درصد دبی با افزایش دبی به‌صورت کمی دیده می‌شود. در عمق‌های ثابت با افزایش ابعاد روزنه درصد دبی افزایش می‌یابد و با افزایش H_c درصد دبی کاهش می‌یابد، همچنین با افزایش دبی درصد دبی عبوری نیز کاهش می‌یابد.

مقایسه پژوهش حاضر با پژوهش‌های دیگر

برای مقایسه نتایج پژوهش حاضر با دیگر پژوهش‌ها از مطالعه دانش‌فراز و همکاران (۱۶) استفاده شد. در مطالعه

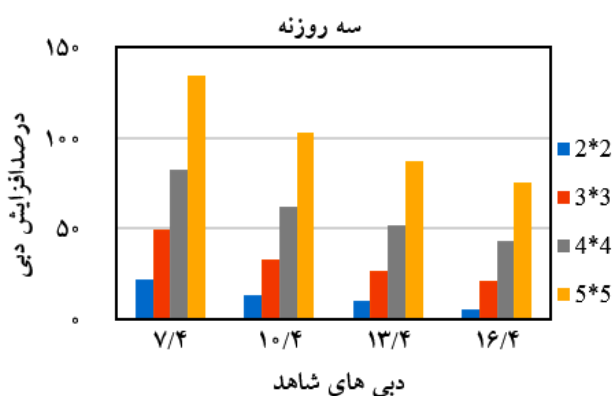
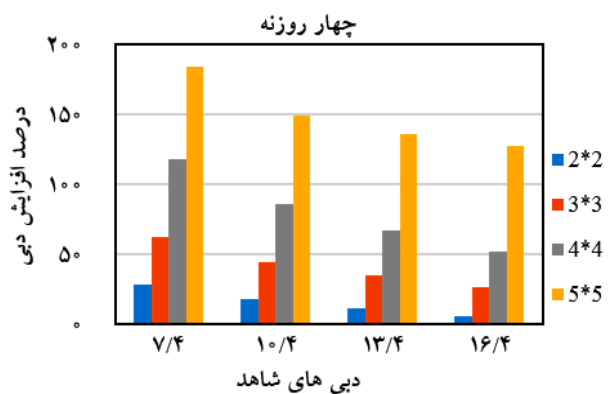
جدول ۷. بررسی کمی درصد افزایش دبی با افزایش هر سانتی متر ابعاد روزنه

درصد افزایش دبی به ازای افزایش هر سانتی متر ابعاد روزنه				تعداد روزنه
۵×۵	۴×۴	۳×۳	۲×۲	
	۹,۴			n=۱
	۱۸,۴			n=۲
	۲۹,۱			n=۳
	۴۴,۴			n=۴
	۳۹,۱			n=۵



روند تغییرات درصد دبی با افزایش دبی در سازه‌های ۲ روزنه

روند تغییرات درصد دبی با افزایش دبی در سازه‌های ۱ روزنه



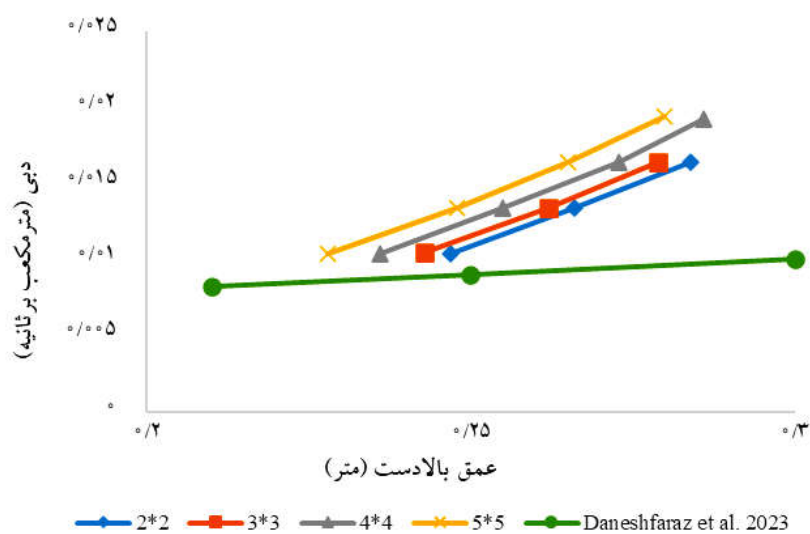
روند تغییرات درصد دبی با افزایش دبی در سازه‌های ۴ روزنه

روند تغییرات درصد دبی با افزایش دبی در سازه‌های ۳ روزنه

شکل ۹. روند تغییرات درصد دبی با افزایش دبی در سازه‌ها

جدول ۸ روند تغییرات درصد افزایش دبی با افزایش دبی‌های سرریز شاهد

شماره	اشل (سانتی‌متر)	ابعاد (سانتی‌متر)	درصد افزایش دبی	میانگین درصد افزایش دبی	دبی‌های آزمایش شاهد (لیتر/ثانیه)
۱	۲۲/۹	۲×۲	۲۱/۷	۶۸/۰	۷/۴
		۳×۳	۴۸/۷		
		۴×۴	۸۸/۳		
		۵×۵	۱۱۳/۲		
۲	۲۴/۹	۲×۲	۱۴	۵۰	۱۰/۴
		۳×۳	۳۴		
		۴×۴	۶۵		
		۵×۵	۸۸		
۳	۲۶/۹	۲×۲	۱۰/۴	۴۱/۴	۱۳/۴
		۳×۳	۲۷/۳		
		۴×۴	۵۰/۷		
		۵×۵	۷۷/۴		
۴	۲۸/۶	۲×۲	۶/۰	۳۳/۸	۱۶/۴
		۳×۳	۲۱/۲		
		۴×۴	۳۸/۳		
		۵×۵	۶۹/۶		



شکل ۱۰. مقایسه رابطه دبی-اشل در حالت سازه دریچه کشویی با سازه ترکیبی سرریز روزنه

نتایج کلی

۱. با افزایش بازشدگی روزنه، دبی عبوری افزایش می‌یابد.
۲. با افزایش تعداد روزنه دبی عبوری افزایش می‌یابد.
۳. بیشترین درصد دبی مربوط در کمترین عمق آب دیده شد.
۴. با افزایش دبی درصد افزایش دبی کاهش می‌یابد و در دبی‌های کم درصد افزایش دبی افزایش می‌یابد.

تشکر و قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از پایان‌نامه نفر اول است که توسط پژوهانه نفر سوم این مقاله مورد حمایت قرار گرفت. لذا بدین وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز بابت حمایت مالی از این پژوهش تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

سرریز شاهد درصد افزایش دبی افزایش می‌یابد ولی با تغییر عمق از عمق کمتر H_c1 به عمق بیشتر H_c4 با تغییر تعداد روزنه و تغییر طول ابعاد روزنه درصد افزایش دبی عبوری، کاهش می‌یابد. همچنین در یک دبی ثابت با تغییر ابعاد و تعداد روزنه درصد افزایش دبی عبوری افزایش می‌یابد و با تغییر دبی از دبی کمتر به دبی‌های بیشتر درصد افزایش دبی کاهش می‌یابد، در نتیجه وقتی در سازه روزنه قرار داده می‌شود در دبی‌های بیشتر از روزنه‌ها دبی کمتری در مقایسه با زمانی که دبی کمتر است عبور داده می‌شود. در نتیجه به‌طور کلی با افزایش دبی در سازه مورد بررسی، درصد افزایش دبی عبوری کاهش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

1. Abbaszadeh, H., R. Daneshfaraz, and R. Norouzi. 2023. Experimental investigation of hydraulic jump parameters in sill application mode with various synthesis. *Journal of Hydraulic Structures* 9: 18-42.
2. Ahadiyan, J., H. Kheibar, and S. M. Sajjadi. 2020. Evaluation of energy dissipation and flow rate of Elliptical-Lopac gate under sudden transition condition. *Journal of Water & Soil Science* 24(3). 83-95 (in Farsi)
3. Ahmed, F. 1985. Characteristics of discharge of the combined flow through sluice gate and over weirs. *Journal Engineering and Technology*. Iraq.
4. AL-Saadi, A. K. I. 2013. Study coefficient of discharge for a combined free flow over weir and under gate for multi cases. *Euphrates Journal of Agriculture Science* 5: 26-35.
5. Alhamid, A., D. Husain, and A. Negm. 1996. Discharge equation for simultaneous flow over rectangular weirs and below inverted triangular weirs. *Arab Gulf Journal of Scientific Research* 14: 595-607.
6. Alhamid, A., A. AM. Negm, and A. Al-Brahim. 1997. Discharge equation for proposed self-cleaning device. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences* 9: 13-23.
7. Alhamid, A. A. 1999. Analysis and formulation of flow through combined V-notch-gate-device. *Journal of Hydraulic Research* 37: 697-705.
8. Altan-Sakarya, A. B. and M. A. Kökpınar. 2013. Computation of discharge for simultaneous flow over weirs and below gates (H-weirs). *Flow Measurement and Instrumentation* 29: 32-8.
9. Alwan, H. H., L. Saleh, F. M. Al-Mohammed and M. Abdulredha. 2020. Experimental prediction of the discharge coefficients for rectangular weir with bottom orifices. *Journal of Engineering Science and Technology* 15: 3265-80.
10. Aydin, I., A. B. Altan-Sakarya and C. Sisman. 2011. Discharge formula for rectangular sharp-crested weirs. *Flow Measurement and Instrumentation* 22: 144-51.
11. Bahrebar, A. R., M. Heidarnajad, A. R. Masjedi and A. Bordbar. 2021. Numerical and experimental study of the combination of labyrinth weir with orifice and its effect on discharge coefficient. *Journal of Water and Soil Science* 25: 91-105.
12. Balochi, B. and Z. Vand. 2012. Laboratory investigation of discharge coefficient in combined weir-gate structure in flood conditions. *Science of Water and Soil*, 22(2), 152-164.
13. Boiten, W. 2002. Flow measurement structures. *Flow Measurement and Instrumentation* 13: 203-7.

14. Daneshfaraz, R., R. Norouzi and H. Abbaszadeh. 2023. Effect of geometric shapes of chimney weir on discharge coefficient. *Journal of Applied Water Engineering and Research* DOI: 10.1080/23249676.2023.2192977.
15. Daneshfaraz, R., R. Norouzi, P. Ebadzadeh, and A. Kuriqi. 2023. Influence of sill integration in labyrinth sluice gate hydraulic performance. *Innovative Infrastructure Solutions* 8:118.
16. Daneshfaraz, N. R. Norouzi and H. Abbaszadeh. 2023. The effect of applying suppressed and non-suppressed sill on discharge coefficient in different positions of the sill relative to the sluice gate. *Water and Soil Science* 33: 2 167-181. (in Farsi)
17. Diwedat, A. I., L. Mamdouh and M. Ibrahim. 2022. Hydraulics of combined triangular sharp crested weir with inverted V-shaped gate. *Alexandria Engineering Journal* 61: 8249-62.
18. El-Saiad, A., A. Negm and U. Waheed El-Din. 1995. Simultaneous flow over weirs and below gates. *Civil Engineering Research Magazine* 17: 62-71
19. Ferro, V. 2000 Simultaneous flow over and under a gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126: 190-3.
20. Gharahgezlou, M., M. Masoudian, B. Haber, A. A. Salehi Neyshaboury. 2013. Effect of weir flow on gate discharge in combined cylindrical weir-gate. *Irrigation and Water Engineering* 3: 86-95.
21. Hayawi, HAA-M., AAA-G Yahia and Hayawi. 2008. Free combined flow over a triangular weir and under rectangular gate. *Damascus University Journal* 24: 9-22.
22. Heidarpoor, M., S. H. Razavian and Y. Hosseini. 2014. Study of simultaneous flow over sharp-crested trapezoidal weir and below sluices gate. *Journal of Water and Soil Science* 18(68): 147-56. (in Farsi)
23. Heydari, A., and R. Pour. 2012. Experimental Investigation of Combined flow over weirs and below Gates. *Scientific Journal of Irrigation and Water Engineering of Iran* 2(4), 66-77. (in Farsi)
24. Hossein Azarpeyvand, A. E. and M. Sedghi Asl. 2019. An experimental study of the discharge of the length increase effect on the composite trapezoidal labyrinth spillway. *Journal of Water & Soil Science* 23(1): 405- 418. (in Farsi)
25. Khassaf, S. I. and H. A. Abbas. 2013. Study the free flow over compound weir and below semicircular gate. *International Journal of Scientific & Engineering Research* 4: 1486-91.
26. Majcherek, H. 1984. Submerged discharge relations of logarithmic weirs. *Journal of Hydraulic Engineering* 110: 840-6.
27. Naderi, M., M. Masoudian and K. Roettcher. 2015. [nvestigation of flow side contraction in combined structure of cylindrical weir-gate. *Water and Soil Science* 24(4): 77-87. (in Farsi)
28. Parsaie, A., A. H. Haghiabi, S. Emamgholizadeh and H. M. Azamathulla. 2019. Prediction of discharge coefficient of combined weir-gate using ANN, ANFIS and SVM. *International Journal of Hydrology Science and Technology* 9: 412-30.
29. Pesarkloo, M. and A. R Emadi. 2019. Study of compound flow in compound sharp crested weir and rectangular gates. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 12(6):1349-37. (in Farsi)
30. Sabouri, M., A. R Emadi and R. Fazloulou. 2022. Hydraulic experimental evaluation of free and submerged flow over compound weir of circular-rectangular. *Journal of Water & Soil Science* 26(2): 107-118. (in Farsi)
31. Samani, J. M. and M. Mazaheri. 2009. Combined flow over weir and under gate. *Journal of Hydraulic Engineering* 135: 224-7.
32. Shabani, E., A. Zahiri, M. M. Halaghi and A. Dehghani. 2018. Laboratory study of discharge coefficient in the combined structure of composite weir-gate. *Journal of Water and Soil Conservation* 25(3): 209-224. (in Farsi)
33. Zinali AP, Pour, K., Jahromi, M., Habib, S., & Moghadam, F. (2017). The mutual effects of weir and gate on the flow characteristics in the combined weir-gate flow structure. *Science of Water and Soil*, 27(2): 283-291.

Experimental Study of discharge - head Flow Rate Relation through Combined Structure Sharp Crested Rectangular Weir with Multiple Square Orifice

Somayeh Barani¹, Mehdi Zeinivand^{2*}, Mehdi ghomeshi²

(Received: May 20-2023 ; Accepted: August 12-2023)

Abstract

In this study the effect of orifice number and dimensions in combined structure sharp crested rectangular weir with multiple square orifice was investigated. For this propose, some experiments in different flow rate, different orifice number and dimensions were done. The results showed that by different orifice numbers and dimensions, flow discharge increased at the same upstream flow head. This increasing trend was observed in all numbers and dimensions of the investigated experiments. The analysis of the quantitative results showed that by increasing the number of orifices, the discharge rate through the combined structure of weir-orifice was increased on average 2.06 liters per second and by increasing each centimeter of orifice dimensions, the discharge was increased by 2.82 liters per second. Also by calculating the percentage of flow rate increase, it was observed that by adding the orifice number, it increases by 18.7% and by increasing the size of the orifice by one centimeter, the flow rate increases by 28.1%.

Keywords: Sharp Crested Weir, Discharge - Head, Discharge Coefficient, Combined Weir, Lower Multiple Orifice.

1. 1. M.Sc. Graduated, Department of Water Structures, Faculty of Water & Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Department of Water Structures, Faculty of Water & Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author, Email: m.zeinivand@scu.ac.ir