

# Discharge-Level Laboratory Investigation of the Flow Passing Through the Composite Structure of Sharp Crested Triangular with Multiple Orifices

Seyedeh Negar Sadat Ahmadi<sup>1</sup>, Mehdi Zeinivand<sup>2\*</sup>, Mehdi Ghomeshi<sup>3</sup>

1- Master's student in Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Assistant Professor, Water Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3- Professor, Water Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

\* [m.zeinivand@scu.ac.ir](mailto:m.zeinivand@scu.ac.ir)

Received: 8 October 2023  
Accepted: 3 December 2023  
Discussion: 21 December 2024



J. Hydraul.  
Iranian Hydraulic Association  
Homepage: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

## Abstract

**Introduction:** With the ever-increasing human need for water and the development of agriculture and industry, coupled with the global water crisis, it is essential to address water wastage and its distribution and transfer with greater precision. Providing fundamental solutions to these challenges is crucial. Water transfer in the agricultural sector is particularly significant within the realm of water resources management, necessitating careful control of consumption levels. In this context, structures such as weirs and orifices, whose main task is to accurately measure the flow rate and regulate the water level in water distribution networks, have played their role correctly. During a flood, by placing several orifices with a certain number and dimensions in the lower part of this weir, it is possible to pass more discharge. In this research, the percentage increase in discharge rate and changes in flow in each of the models designed by changing the number and dimensions of orifices in the sharp-crest triangular weir with multiple orifices in completely free conditions orifices have been estimated.

**Methodology:** The experiments for this research were conducted in the hydraulic laboratory at Shahid Chamran University of Ahvaz. The flume used had dimensions of 0.5 meters in length, 0.3 meters in width, and 0.15 meters in height. In this study, 19 weirs with square orifices and 90 degree apex angles were designed in five cases from one to five orifices and in dimensions of two to five centimeters and one weir without an orifice was designed as a control test. Additionally, one weir without an orifice was used as a control test, making a total of 20 models. Due to the width limitation of the flume, the design did not include a weir with five orifices each measuring 5×5 cm.

**Results and Discussion:** The innovation of the research is that the change in the number and dimensions of the orifices in the sharp-crested triangular weir has caused a significant change in the flow rate and the percentage of excess flow rate, and the changes in the size and number of these two parameters have been investigated and tested on the performance of this structure. The results showed that for a fixed reference level, while the same level remains constant, due to the change in the number of orifices or the dimensions of the

orifices, the flow discharge has increased. The results of examining the rate of flow rate changes (difference between the flow rate resulting from the weir-orifice test and the flow rate resulting from the weir without orifices) have shown that in each combined weir with the increase of each orifice and every one centimeter of the orifice dimensions, on average, Two liters per second and 2.3 liters per second are added to the flow, respectively. The results of the analysis of the percentage of excess flow rate in the weir-orifice test compared to the weir test without orifices have shown that with the increase in the number and dimensions of the orifices, the percentage of excess flow rate has increased by 38.15 and 49% respectively at a fixed level. By comparing the changes in the percentage of flow rate of excess flow compared to the flow rate in the witness test, it shows that with the increase of the flow rate, the percentage of excess flow rate decreases. In other words, at higher flow rates in a fixed reference level, when an opening is created, the percentage of increased flow rate is lower compared to when a lower flow rate is passed. Finally, in the best case for a combined overflow with a change in the size of the orifice from three to four centimeters in a fixed control level, it has the highest percentage of passing flow and is 57%. On the other hand, in the best case, by increasing the number of orifice from three to four apertures in a fixed control level, this percentage increase has reached approximately 42%, and it shows the superiority of these two combined structures compared to other tested structures.

**Conclusion:** The optimal performance for a combined overflow structure is achieved by altering the orifice size from three to four centimeters at a fixed control level, resulting in the highest passing flow percentage of 57%. Similarly, increasing the number of orifices from three to four at a fixed control level yields a flow percentage increase of approximately 42%. These findings highlight the effectiveness of these two combined structures compared to other tested configurations.

**Keywords:** Triangular sharp crest weir, Multiple orifices, Flow discharge, Discharge percentage.



© 2024 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.  
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the  
Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)  
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

# بررسی آزمایشگاهی دبی-اشل جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز لبه تیز مثلثی با روزنه چندگانه


سیده نگار سادات احمدی<sup>۱</sup>، مهدی زینی وند<sup>۲\*</sup>، مهدی قمشی<sup>۳</sup>

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

۲. استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز، ایران.

\* m.zeinivand@scu.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۱۶، پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲، نقد و بررسی: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱  وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

**چکیده:** اصلی‌ترین وظیفه سازه‌هایی نظیر سرریز و روزنه، اندازه‌گیری دبی و تنظیم سطح آب می‌باشد. به هنگام وقوع سیلاب، با قرار دادن چند روزنه با تعداد و ابعاد مشخص در قسمت تحتانی سرریز این امکان وجود دارد که دبی به میزان بیشتری عبور داده شود. در این تحقیق میزان درصد افزایش دبی عبوری و تغییرات آبگذری با تغییر تعداد و ابعاد روزنه در سرریز مثلثی لبه تیز با روزنه چندگانه برآورد گردید. ۱۹ سرریز با روزنه‌ی مربع شکل در پنج حالت از یک الی پنج روزنه و در ابعاد دو الی پنج سانتی‌متر و یک سرریز بدون روزنه تحت عنوان آزمایش شاهد طراحی گردید. نتایج نشان داد که به‌ازای یک تراز شاهد ثابت، ضمن اینکه همان تراز ثابت بماند با توجه به تغییر تعداد روزنه و یا ابعاد روزنه، میزان دبی آبگذری افزایش یافته است. نتایج حاصل از بررسی میزان تغییرات نشان داده است که در هر اشل شاهد ثابت، با افزایش هر یک روزنه، بطور متوسط به میزان دو لیتربرثانیه و به ازای افزایش هر یک سانتی‌متر به ابعاد روزنه به میزان ۲/۳ لیتربرثانیه به مقادیر دبی آبگذری افزوده می‌گردد. در بهترین حالت برای سرریز ترکیبی با تغییر ابعاد روزنه از سه به چهار سانتی‌متر در یک اشل ثابت، بیشترین درصد دبی عبوری و به میزان ۵۷ درصد داشت. همچنین با افزایش تعداد روزنه از سه به چهار روزنه در یک اشل ثابت، این میزان درصد افزایش به طور تقریبی به ۴۲ درصد رسید که نشان از برتری این دو مدل ترکیبی نسبت به سایر مدل‌های مورد آزمایش بوده است.

**کلیدواژگان:** سرریز لبه تیز مثلثی، روزنه چندگانه، دبی آبگذری، درصد دبی.

## ۱- مقدمه

تخصیص مناسب حقاچه کشاورزان نقش خود را به درستی ایفا کرده است. قرارگرفتن این سازه سرریز مثلثی در عرض یک آبراهه(کانال) یا رودخانه به مرور زمان مسئله تجمع رسوبها در بالادست سرریزها موجب مسئله‌های عمده‌ای همچون کاهش ظرفیت آب در آبراهه و مخزن‌ها و کاهش ارتفاع موثر سرریز شده و همچنین سبب تغییر محسوس در میزان دبی جریان عبوری شده و در نتیجه موجب کاهش بازده(راندمان) سازه مورد نظر می‌شود. در این صورت در سازه ترکیبی سرریز-روزنه که روزنه در قسمت زیرین آن تعبیه شده می‌توان تا حدودی مسئله انباشته‌شدن رسوبها را در پشت سرریز حل کرد. لیکن

امروزه با توجه به رشد بالای جمعیت و توسعه کشاورزی، ضرورت حفاظت و مدیریت از منابع‌های طبیعی بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. بهینه سازی مصرف آب بیش از پیش مهم شده است لذا در این راستا برای کاهش هدررفت آب اندازه‌گیری دقیق دبی جریان و انتقال بهینه آن نقش اصلی را ایفا می‌کند (Shabani et al., 2018). بدین ترتیب سازه‌هایی با عنوان سرریزها که از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند توسط مهندسان هیدرولیک، برای کنترل تراز سطح آب و اندازه‌گیری میزان جریان عبوری با دقت بالا، در شبکه‌های توزیع آب برای

بخش دیگری از رسوب‌ها در دو طرف بالادست سرریز همچنان وجود دارد که سبب ایجاد آشفستگی در خروجی شده و موجب افت انرژی می‌شود. همچنین با توجه به این نکته که سازه سرریز مثلثی برای دبی‌های کم استفاده می‌شود به هنگام رخداد سیلاب، با قرار دادن چند روزنه با شمار و ابعاد مشخص در قسمت زیرین این سرریز این امکان وجود دارد که دبی به میزان بیشتری عبور داده شود. یکی از مسئله‌ها و نارسایی‌های دیگر در سازه ترکیبی سرریز-روزنه که یک روزنه در قسمت زیرین آن تعبیه شده این است که می‌توان تا حدودی مسئله انباشته شدن رسوب‌ها را در پشت سرریز حل کرد. لیکن بخش دیگری از رسوب‌ها در دو طرف بالادست سرریز همچنان وجود دارد که سبب ایجاد آشفستگی در خروجی شده و موجب افت انرژی می‌شود. لذا در این تحقیق با قرار دادن چند روزنه این موضوع حل شده است. Sakarya and Kokpinar (2013) آزمایش‌های خود را در شرایط جریان آزاد بر روی یک سرریز مستطیلی با دریچه مستطیلی شکل به منظور یافتن رابطه دبی و عمق آب برای جریان همزمان در زیر دریچه‌های مستطیلی و روی سرریزهای مستطیلی بوده است. آنان همچنین توانستند معادله‌های دیگر بدست آمده توسط دیگر محققان مانند Negm و Ferro را برای مقایسه و برآورد دبی استفاده کرد و با بررسی و مقایسه معادله‌های آنان به این نتیجه دست یافتند که همه‌ی مقادیرهای دبی همخوانی خوبی با داده‌های بدست آمده داشته است. Achour and Amara (2022) در تحقیقات خود به بررسی رابطه بین دبی جریان و همچنین ضریب دبی جریان در سرریز مثلثی پرداختند آنان برای این کار هر دو معادله انرژی و معادله حرکت را ضروری دانستند آن‌گاه رابطه‌ای خطی بین دبی جریان تجربی (دبی واقعی) و دبی تئوری ارائه کردند. Ali et al. (2015) به بررسی تاثیر افزایش زاویه راس سرریز مثلثی بر ضریب دبی جریان پرداختند. نتایج را بدین گونه شرح دادند که با افزایش مقادیرهای زاویه راس سرریز همیشه روند افزایشی برای دبی با ارتفاع بالای سرریز وجود دارد. مقادیرهای ضریب دبی با تغییر زاویه از ۳۰ به ۴۵ درجه کاهش می‌یابد. Shabani et al. (2018) به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه مرکب سرریز مثلثی مستطیلی پرداختند. آنان همچنین به این نتیجه دست یافتند که با افزایش زاویه راس سرریز به ازای بازشدگی برابر، روند کاهشی برای ضریب دبی جریان وجود دارد. (Negm (2002) در تحقیقات آزمایشگاهی خود به بررسی دبی جریان عبوری در شرایط آزاد، برای سرریز و روزنه مستطیلی در حالت فشرده‌گی جانبی پرداختند. آنان در نهایت به این نتیجه دست یافتند که ضریب دبی جریان تابع شرایط هیدرولیکی و هندسی درآزمایش بوده است. Negm et al. (1995) به بررسی ویژگی‌های جریان ترکیبی آزاد در حالت سازه سرریز ترکیبی سرریز مستطیلی با روزنه مستطیلی شکل با فشرده‌گی جانبی پرداخته و پس از آن رابطه‌ای برای برآورد ضریب دبی تخلیه جریان عبوری را برای سازه ترکیبی سرریز دریچه ارائه کردند. (Balouchi and Zeinivand (2012) در تحقیقات خود به بررسی آزمایشگاهی سازه سرریز مثلثی با روزنه مستطیلی پرداختند و پس از آن بنابر داده‌های تجربی به دست آمده و مدل رگرسیونی، معادله‌ای برای برآورد ضریب دبی با میزان همبستگی برابر با ۰/۹۷ ارائه کردند. Pesaraklo and Emadi (2015) در تحقیقات خود به بررسی آزمایشگاهی سه نوع مدل سرریز مرکب (مستطیلی و دوزنقه‌ای و مثلثی) با دریچه به این نتایج دست یافتند که به ازای تغییر سه زاویه متفاوت سرریز مثلثی به ۶۰، ۹۰ و ۱۱۵ درجه در یک بازشدگی برابر، زاویه ۹۰ درجه دارای بیشینه (ماکزیمم) مقدار ضریب آبگذری نسبت به زاویه‌های ۱۱۵ و ۶۰ درجه می‌باشد. آنان همچنین به این نتیجه دست یافتند که به ازای افزایش میزان زاویه سرریز مثلثی در یک هد ثابت مقدار دبی جریان عبور داده شده در سرریز با زاویه ۱۱۵ درجه بیشترین مقدار را دارد. (Al-Suhili and Shwan (2013) به بررسی ضریب دبی جریان و ویژگی‌های هیدرولیکی سرریز دوزنقه‌ای با روزنه‌های مستطیلی شکل پرداختند. آزمایش‌های آنان در شرایط جریان کاملاً آزاد انجام شد و نتایج به دست آمده نشان داد با افزایش سطح آب در بالادست سازه، میزان آشفستگی (تلاطم) در قسمت پایین دست افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث حذف رسوب‌های انباشته شده می‌شود. (Pirathepan et al. (2006) در تحقیقات

بخش دیگری از رسوب‌ها در دو طرف بالادست سرریز همچنان وجود دارد که سبب ایجاد آشفستگی در خروجی شده و موجب افت انرژی می‌شود. همچنین با توجه به این نکته که سازه سرریز مثلثی برای دبی‌های کم استفاده می‌شود به هنگام رخداد سیلاب، با قرار دادن چند روزنه با شمار و ابعاد مشخص در قسمت زیرین این سرریز این امکان وجود دارد که دبی به میزان بیشتری عبور داده شود. یکی از مسئله‌ها و نارسایی‌های دیگر در سازه ترکیبی سرریز-روزنه که یک روزنه در قسمت زیرین آن تعبیه شده این است که می‌توان تا حدودی مسئله انباشته شدن رسوب‌ها را در پشت سرریز حل کرد. لیکن بخش دیگری از رسوب‌ها در دو طرف بالادست سرریز همچنان وجود دارد که سبب ایجاد آشفستگی در خروجی شده و موجب افت انرژی می‌شود. لذا در این تحقیق با قرار دادن چند روزنه این موضوع حل شده است. Sakarya and Kokpinar (2013) آزمایش‌های خود را در شرایط جریان آزاد بر روی یک سرریز مستطیلی با دریچه مستطیلی شکل به منظور یافتن رابطه دبی و عمق آب برای جریان همزمان در زیر دریچه‌های مستطیلی و روی سرریزهای مستطیلی بوده است. آنان همچنین توانستند معادله‌های دیگر بدست آمده توسط دیگر محققان مانند Negm و Ferro را برای مقایسه و برآورد دبی استفاده کرد و با بررسی و مقایسه معادله‌های آنان به این نتیجه دست یافتند که همه‌ی مقادیرهای دبی همخوانی خوبی با داده‌های بدست آمده داشته است. Achour and Amara (2022) در تحقیقات خود به بررسی رابطه بین دبی جریان و همچنین ضریب دبی جریان در سرریز مثلثی پرداختند آنان برای این کار هر دو معادله انرژی و معادله حرکت را ضروری دانستند آن‌گاه رابطه‌ای خطی بین دبی جریان تجربی (دبی واقعی) و دبی تئوری ارائه کردند. Ali et al. (2015) به بررسی تاثیر افزایش زاویه راس سرریز مثلثی بر ضریب دبی جریان پرداختند. نتایج را بدین گونه شرح دادند که با افزایش مقادیرهای زاویه راس سرریز همیشه روند افزایشی برای دبی با ارتفاع بالای سرریز وجود دارد. مقادیرهای ضریب دبی با تغییر زاویه از ۳۰ به ۴۵ درجه کاهش می‌یابد. Shabani et al. (2018) به بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه مرکب

تغییرپذیری‌ها در اندازه و شمار این دو فراسنجه بر عملکرد این سازه مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است. از گذشته تاکنون بر روی تاثیر شمار و ابعاد روزنه در سرریز مثلثی لبه تیز با زاویه راس ۹۰ درجه بررسی‌هایی صورت نگرفته است. لذا هدف اصلی در این تحقیق بررسی تغییر دو فراسنجه ابعاد و شمار روزنه‌ی مربع شکل در سرریز لبه تیز مثلثی با زاویه‌ی راس ۹۰ درجه بر میزان و روند تغییر آبگذری این سازه در شرایط به‌کلی آزاد پرداخته شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تجهیزات آزمایشگاهی

در این تحقیق به منظور دست یابی به دقت بالا و کاهش میزان خطا از ابزار مناسب و استاندارد با توجه به امکانات آزمایشگاهی صورت گرفته است بدین منظور آزمایش‌های این تحقیق همگی در آزمایشگاه دانشکده علوم آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. فلوم به کار گرفته شده در این تحقیق علمی با طول و عرض و ارتفاع به ترتیب برابر ۱۵، ۰/۳، ۰/۵ متر انجام شد. فلوم دارای بستری از جنس استیل و دیواره‌هایی از جنس شیشه می‌باشد. در ابتدای فلوم یک توری مشبک در قسمت ورودی جریان قرار داده شد تا نوسان‌ها و آشفتگی جریان را کاهش دهد. محل تامین آب این فلوم مورد استفاده به‌صورت مخزن‌های متصل به هم و در کنار فلوم می‌باشد. در این تحقیق برای ایجاد شرایط جریان آزاد در پایین دست سازه، در آغاز در فلوم مورد نظر جریان با بیشترین دبی عبور داده شد آن‌گاه مشاهده شد عمق جریان ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد. بنابراین بستر فلوم به ارتفاع ۱۵ سانتی متر و به طول سه متر از ابتدای فلوم با استفاده از صفحه‌هایی از جنس شیشه بالا آورده شد و سپس با استفاده از چسب آکواریوم آب‌بندی کامل صورت گرفت. اندازه گیری دبی به وسیله یک دستگاه دبی‌سنج فراصوتی (اولتراسونیک) انجام شد. دبی جریان توسط یک شیر فلکه که بر روی لوله ورودی به فلوم نصب شده بود، تنظیم شد. برای اندازه‌گیری عمق جریان، از یک عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. شکل ۱ شمای کلی

خود به بررسی آزمایشگاهی سازه سرریز مرکب مثلثی- مثلثی با زوایای راس ۱۵۰، ۱۲۰، ۹۰، ۶۰ درجه پرداختند. آنان همچنین رابطه‌ای دقیق برای برآورد دبی جریان عبوری از این سازه مرکب ارائه کردند. (Hayawi (2008) ارزیابی‌های آزمایشگاهی خود را بر روی سازه سرریز مثلثی دارای روزنه مستطیلی در شرایط آزاد به ازای سه زاویه راس (۳۰، ۴۵، ۶۰) بررسی کردند و نتایج خود را این‌گونه شرح دادند که با افزایش زاویه راس سازه سرریز مثلثی، میزان ضریب دبی کاهش می‌یابد. (Hoseini (2014) در تحقیقات خود به بررسی ضریب دبی تخلیه جریان در یک سازه سرریز مثلثی لبه‌پهن با هندسه‌های مختلف واقع در یک آبراهه اصلی با مقطع مستطیلی شکل پرداختند پس از آن فراسنجه‌های موثر بر ضریب دبی جریان را استخراج کردند. (Akhbari et al. (2017) در تحقیقات خود به پیش‌بینی ضریب دبی جریان بر روی سرریز طرح مثلثی با استفاده از شبکه‌های عصبی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که مدل M5 قادر به مدل‌سازی دقیق‌تر ضریب دبی می‌باشد. (Salehi and Azimi (2019) در تحقیقات خود به بررسی ویژگی‌های دبی جریان عبوری از سازه ترکیبی سرریز-دریچه پرداختند و همچنین با استفاده از تحلیل ابعادی و روش‌های رگرسیون چند متغیره بررسی‌های لازم را انجام دادند. (Balouchi and Rakhshandehroo (2018) در آزمایش‌های خود به بررسی ۳۴ سازه ترکیبی سرریز-دریچه در شرایط آزاد پرداختند. نتایج آزمایش‌های آنان نشان داد که به‌ازای افزایش نسبت بدون بُعد عمق نسبی جریان، ضریب دبی کل جریان نیز افزایش می‌یابد. (Alhamid et al. (1997) در تحقیقات خود به بررسی یک سرریز مثلثی با دریچه مستطیلی در شرایط جریان آزاد پرداختند و همچنین به بررسی فراسنجه‌های موثر مربوط به جریان و هندسه مدل بر جریان عبوری پرداخت فرض آنان بر این بود که مدل سرریز دریچه را به عنوان یک دریچه در نظر گیرد و به جای ضریب دبی دریچه از ضریب دبی سازه سرریز دریچه استفاده کردند.

نوآوری این تحقیق این بوده است که تغییر شمار و ابعاد روزنه در سرریز مثلثی لبه تیز سبب تغییر محسوس دبی عبوری جریان و درصد مازاد دبی عبوری شده است و



**Fig. 2** Raised bed upstream of the weir  
شکل ۲ بستر بالا آمده در بالادست سرریز.



**Fig. 3** Combined triangular weir used in the experiment.  
شکل ۳ سرریز مثلثی ترکیبی به کار رفته در آزمایش.

## ۲-۲- شرح آزمایش

آزمایشی با عنوان آزمایش شاهد به گونه‌ای انجام شد که ابتدا سرریز بدون روزنه در لبه انتهایی بالا آمدگی بستر فلوم، با استفاده از گونیا به صورت عمود به جهت جریان، نصب و با استفاده از چسب آکوارיום به طور کامل آب‌بندی شد. در آغاز پمپ آب روشن شد و با استفاده از شیرفلکه مربوطه، دبی جریان طوری تنظیم شد که کمترین ارتفاع آب بر روی سرریز پنج سانتی‌متر باشد تا بدین گونه اثر کشش سطحی حذف گردیده و موجب بروز خطا در آزمایش‌هایش نشود (Chanson et al., 2009). بنابراین دبی مربوط به این شرایط به عنوان دبی کمینه انتخاب شد. پس از آن بیشینه دبی از فلوم عبور داده شد و این دبی سرریزها با یک الی پنج روزنه و همچنین با ابعاد دو تا پنج سانتی‌متر استخراج شد. با تقسیم بازه دبی کمینه و بیشینه به شمار مناسب، محاسبه‌های مربوط به تعیین دبی‌های این تحقیق انجام و محاسبه شد که کمینه دبی ۲/۸ و بیشینه ۸/۸ لیتر بر ثانیه و فاصله بین دبی‌ها دو لیتر بر ثانیه بوده است. لذا برای آزمایش‌های شاهد (سرریز-

فلوم مورد استفاده در این تحقیق مشاهده می‌شود.



**Fig. 1** Flume used in this research.  
شکل ۱ فلوم مورد استفاده در این تحقیق.

در این تحقیق آزمایشگاهی سرریزهای مورد استفاده از جنس ورق فلزی با ضخامت ۰/۷ استفاده شد که در فاصله سه متری از ابتدای فلوم و در موقعیت انتهایی بالا آمدگی بستر، قرار داده شدند. در همه‌ی آزمایش‌ها، موقعیت سرریز ثابت بود. قسمت بالای سرریز لبه تیز از زاویه راس ۹۰ درجه استفاده شد و این زاویه راس در همه‌ی آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد. برای رسیدن به هدف‌های این تحقیق و بررسی تاثیر شمار و ابعاد روزنه در قسمت زیرین سرریزها روزنه‌هایی تعبیه شد. برای جلوگیری از انحنای خم شدن سرریزها، یک تیغه نگهدارنده ۹۰ درجه به صورت عرضی روی قسمت بیرونی سرریز به گونه‌ای نصب شد که افزون‌بر اینکه تاثیری بر روی عبور جریان نداشته باشد، بازدارنده خم شدن عرضی بدنه سرریز شود. برای بررسی تاثیر شمار روزنه بر دبی جریان عبوری، تعداد یک الی پنج روزنه در قسمت تحتانی سرریزها و جهت بررسی اثر ابعاد روزنه بر دبی جریان عبوری، روزنه مربعی با طول ضلع دو الی پنج سانتی‌متر اختیار شد. علت انتخاب این شمار و این ابعاد، محدودیت عرض فلوم (عرض آبراهه) می‌باشد که ۳۰ سانتی متر بوده و امکان افزایش شمار و ابعاد ممکن نبود. با توجه به همین محدودیت، امکان ساخت سرریز مثلثی لبه تیز با شمار پنج روزنه به طول ضلع پنج سانتی‌متر نیز ممکن نبوده و این مدل سرریز-روزنه حذف شد. لذا سرریزها از یک تا پنج روزنه و برای هر کدام ابعاد روزنه‌ها از دو تا پنج سانتی‌متر تغییر کرد. در این تحقیق یک مدل سرریز بدون روزنه را با عنوان آزمایش شاهد و ۱۹ مدل دیگر را به صورت سازه ترکیبی سرریز-روزنه در نظر گرفته و در نهایت ۲۰ سازه طراحی و مورد آزمایش قرار داده شد.

روزنه) چهار دبی در جدول زیر ارائه شده است.

**جدول ۱** دبی و اشل در آزمایش شاهد.

**Table 1** gauge and discharge in the witness test

$Q_c$ (lit/sec)	$H_c$ (m)	$Y$ (m)
2.8	0.241	0.091
4.8	0.26	0.11
6.8	0.275	0.125
8.8	0.286	0.136

در جدول ۱ مقدارهای دبی ( $Q_c$ ) بر حسب لیتر بر ثانیه و مقدارهای اشل ( $H_c$ ) و عمق جریان بر روی سرریز ( $Y$ ) بر حسب متر می باشد. در مرحله ی پس از تعیین فاصله مربوط به آزمایش شاهد و تعیین دبی و کل تراز بالادست آن، رابطه (۱) برای برآورد دبی سازه ترکیبی سرریز-روزنه ( $Q_E$ ) در هر ابعاد ( $L$ ) و در هر تعداد روزنه ( $n$ ) به ازای اشل های موجود ( $H_c$ ) در جدول ۱ استفاده شد.

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

در رابطه (۱) منظور از  $H$ ، کل تراز بالادست می باشد که در رابطه ی بالا مقدارهای اشل ( $H_c$ ) در آزمایش سرریز بدون روزنه (آزمایش شاهد) جایگذاری می شود. مقدارهای

a, b, c با کمک نرم افزار SPSS در هر کدام از سرریزها با ابعاد و روزنه متفاوت در جدول ۲ برآورد شده است. در این تحقیق دو نوع بررسی انجام شد. در بررسی اول برای بیان صریح مقدارهای خالص دبی عبوری، محاسبه ها بر مبنای فراسنجه های بعددار دبی-اشل انجام شد، لذا در این بررسی نگاره ها و محاسبه ها بر مبنای فراسنجه های بعددار انجام شده است. در بررسی اول برای برآورد میزان تغییرپذیری های دبی جریان عبوری نسبت به آزمایش شاهد از رابطه ی زیر استفاده شد.

$$\Delta Q = Q_E - Q_C \quad (2)$$

در رابطه ۲ فراسنجه  $\Delta Q$  تغییرپذیری های دبی جریان عبوری (بر حسب لیتر بر ثانیه) و  $Q_E$  دبی عبوری که برای اشل آزمایش های شاهد از رابطه ۱ برآورد شده و فراسنجه  $Q_C$  دبی در آزمایش شاهد (سرریز بدون روزنه) می باشد که مقدارهای آن در جدول ۱ گردآوری شده است. لذا در این تحقیق دو فراسنجه شمار روزنه ( $n$ ) و ابعاد روزنه ( $L$ ) به عنوان دو عامل موثر در تغییرپذیری های دبی ( $\Delta Q$ ) که دارای بُعد می باشد، بررسی شده است.

**جدول ۲** فراسنجه های استخراج شده از نرم افزار SPSS

**Table 2** Parameters extracted from spss software

$n$	$L \times L$ (cm)	$a$	$b$	$c$	$R^2$
1	2×2	1.175	-0.483	0.051	1
1	3×3	1.026	-0.402	0.041	1
1	4×4	0.846	-0/309	0.030	0.99
1	5×5	0.883	0/325	0.033	0.99
2	2×2	1.076	-0/428	0.044	0.99
2	3×3	0.909	-0/337	0.033	0.99
2	4×4	0.825	-0/294	0.029	0.99
2	5×5	0.820	-0/286	0.030	0.99
3	2×2	0.825	-0/301	0.029	0.99
3	3×3	0.898	-0/329	0.033	0.99
3	4×4	0.888	-0/318	0.034	0.99
3	5×5	0.751	-0/235	0.025	0.99
4	2×2	0.915	-0/341	0.034	1
4	3×3	0.826	-0/291	0.029	0.99
4	4×4	0.742	-0/243	0.026	1
4	5×5	0.490	-0/093	0.010	0.99
5	2×2	0.681	-0/225	0.020	0.99
5	3×3	0.824	-0/284	0.029	1
5	4×4	0.645	-0/199	0.024	0.98

## ۳- بحث و بررسی نتایج

## ۳-۱- بررسی تغییرپذیری‌های (دبی محاسبه‌شده ناشی از آزمایش سرریز روزنه) با افزایش شمار روزنه‌ها

در این تحقیق در آغاز به بررسی و مقایسه دبی عبوری جریان در یک سرریز بدون روزنه و سرریز ترکیبی با روزنه در قسمت تحتانی پرداخته شد و پس از آن مشاهده شد با افزایش ابعاد و شمار روزنه‌ها در سازه ترکیبی سرریز-روزنه می‌توان شاهد تغییرپذیری‌ها در میزان دبی آبگذری جریان بود.

در نمودارهای شکل ۴، محور افقی شمار روزنه (n) و محور عمودی دبی محاسبه‌شده ناشی از آزمایش سرریز روزنه می‌باشد که به‌ازای اشل‌های (H<sub>c</sub>) ثابت در آزمایش شاهد مشاهده می‌شود.

در بررسی دوم برای برآورد میزان درصد تغییرپذیری‌های دبی، از رابطه ۳ استفاده شد. رابطه درصد دبی عبوری با لحاظ کردن روزنه با ابعاد اشاره شده، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\%Q = \frac{Q_E - Q_C}{Q_C} \times 100 \quad (3)$$

با نظر به این نکته که درصد تغییرپذیری‌های دبی جریان عبوری (Q)، فراسنجه‌ای بی‌بُعد بوده لذا در این بررسی نیاز بوده است که طول ضلع روزنه (L) را نسبت به عرض فلوم (B) بی‌بُعد کرده و به‌صورت فراسنجه بی‌بُعد (L/B) در نمودارها لحاظ شود. بنابراین دو فراسنجه شمار روزنه (n) و طول نسبی روزنه (L/B) به عنوان فراسنجه‌های موثر بر درصد دبی مورد بررسی قرار گرفته شده است. در بررسی اول با توجه به بُعددار بودن فراسنجه  $\Delta Q$  فراسنجه موثر طول ضلع روزنه (L) نیازی به بی‌بُعدسازی نداشته است.

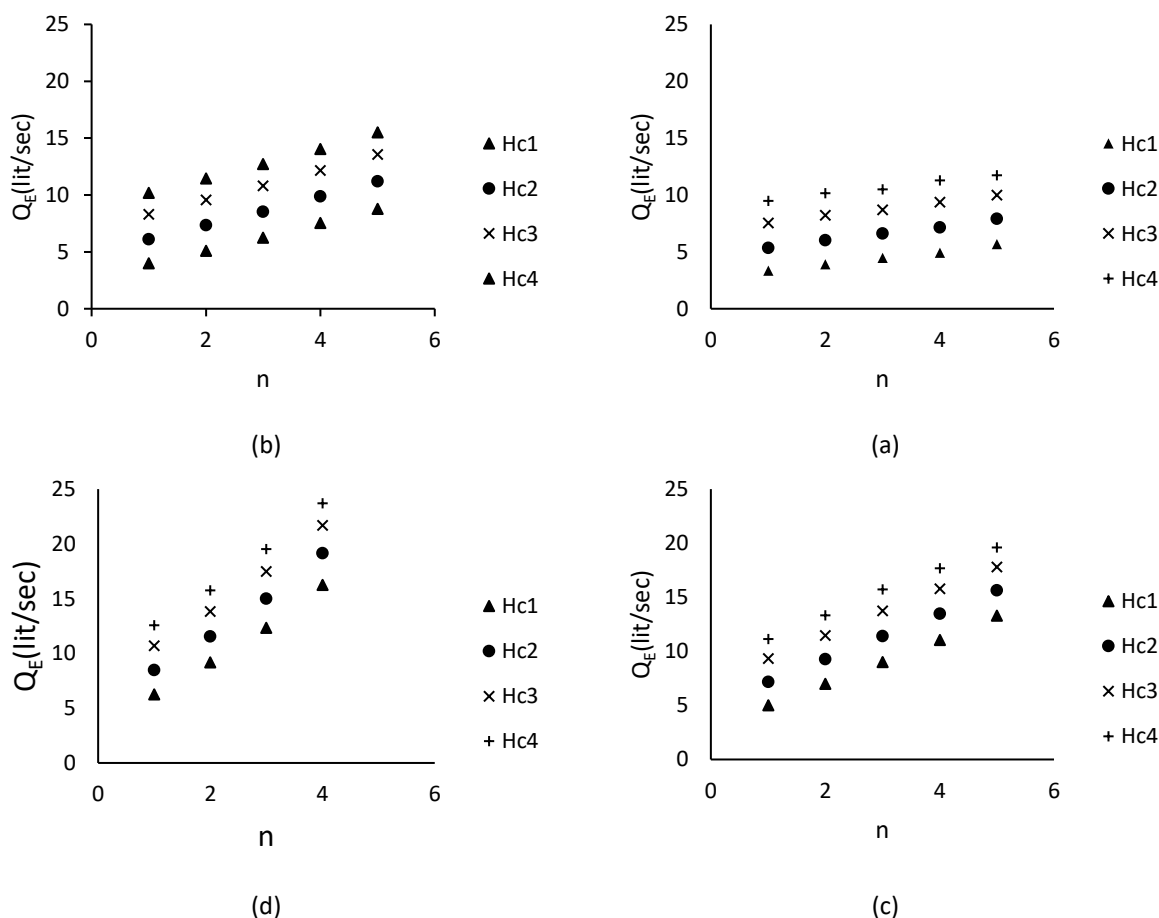
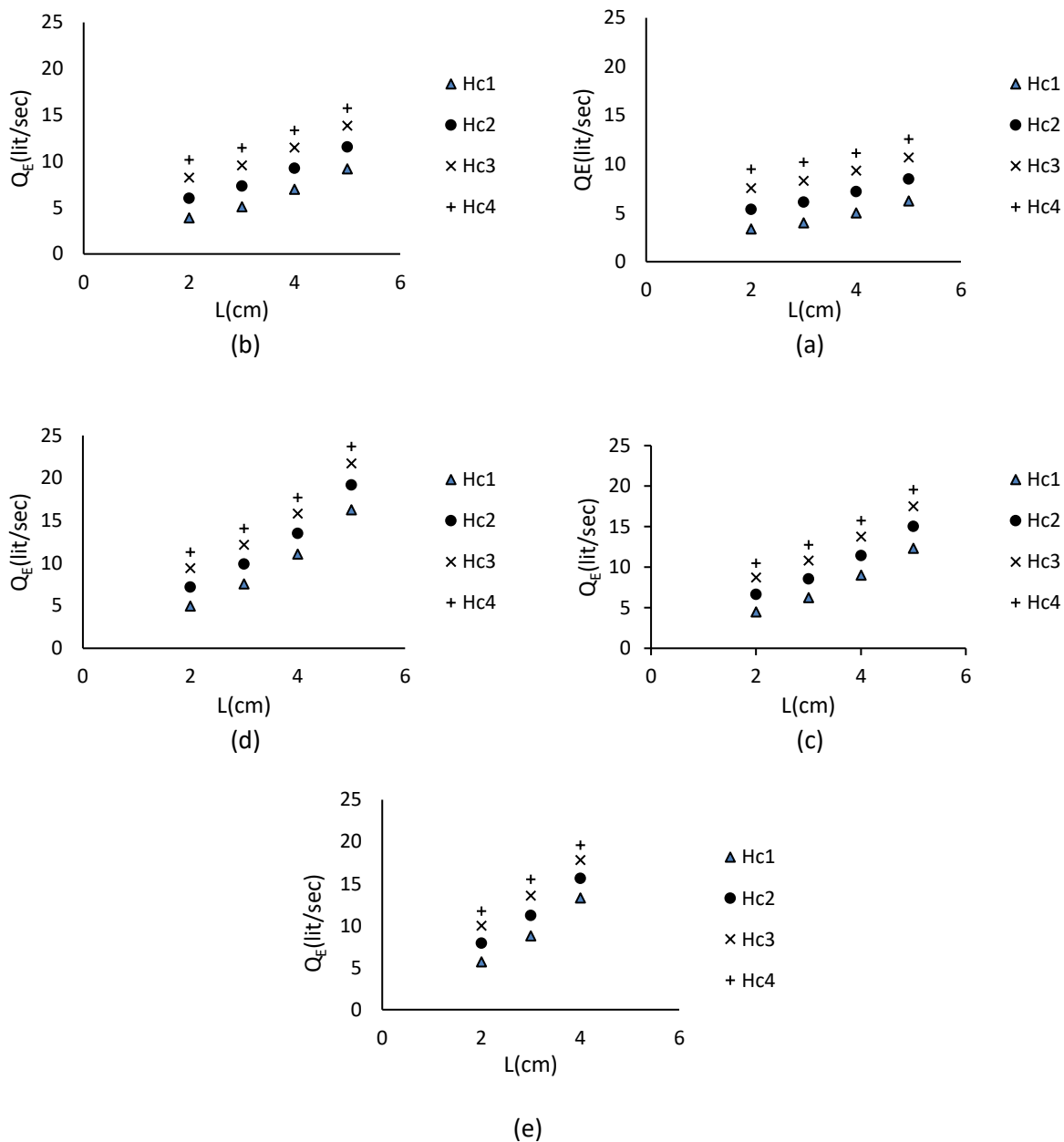


Fig. 4 The process of flow changes with the change of the number of openings and with the side length of (a) two centimeters, (b) three centimeters, (c) four centimeters, (d) five centimeters

شکل ۴ روند تغییرپذیری‌های دبی با افزایش با تغییر شمار روزنه و با طول ضلع (a) دو سانتی‌متر، (b) سه سانتی‌متر، (c) چهار سانتی‌متر، (d) پنج سانتی‌متر



**Fig 5** the process of flow rate changes with the length of the opening side and with the number of openings (a) one, (b) two, (c) three, (d) four, (e) five

شکل ۵ روند تغییرپذیری‌های دبی با تغییر طول ضلع روزنه و با شمار روزنه (a) یک، (b) دو، (c) سه، (d) چهار، (e) پنج

در نمودارهای شکل ۵، محور افقی ابعاد روزنه ( $L$ ) و محور عمودی دبی محاسبه‌شده ناشی از آزمایش سرریز-روزنه می‌باشد که از رابطه ۱ برآورد شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد روزنه به ازای یک اشل ( $H_c$ ) ثابت در جدول ۱، میزان دبی ناشی از آزمایش سرریز-روزنه افزایش می‌یابد. این روند در همه‌ی آزمایش‌ها و در شمار مختلف روزنه مشاهده شد. در ادامه برای بررسی و مقایسه کمی و کیفی میزان

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش شمار روزنه به ازای یک اشل ( $H_c$ ) ثابت، میزان دبی ناشی از آزمایش سرریز-روزنه افزایش می‌یابد. این روند در همه‌ی آزمایش‌ها و ابعاد روزنه‌ها مشاهده شد.

۳-۲- بررسی تغییرپذیری‌های دبی (دبی محاسبه-شده ناشی از آزمایش سرریز-روزنه) با افزایش ابعاد روزنه

سرریز-روزنه و دبی شاهد(سرریز بدون روزنه) در اشل‌های شاهد ثابت (برابر جدول ۱) می‌باشد. دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه (۲) برآورد شده است.

تغییرات دبی جریان عبوری که یک عدد بُعددار می‌باشد و همچنین درصد افزایش دبی عبوری که یک عدد بدون بعد بوده، محاسبه‌های بعدی انجام شد. هرکدام از آزمایش‌های

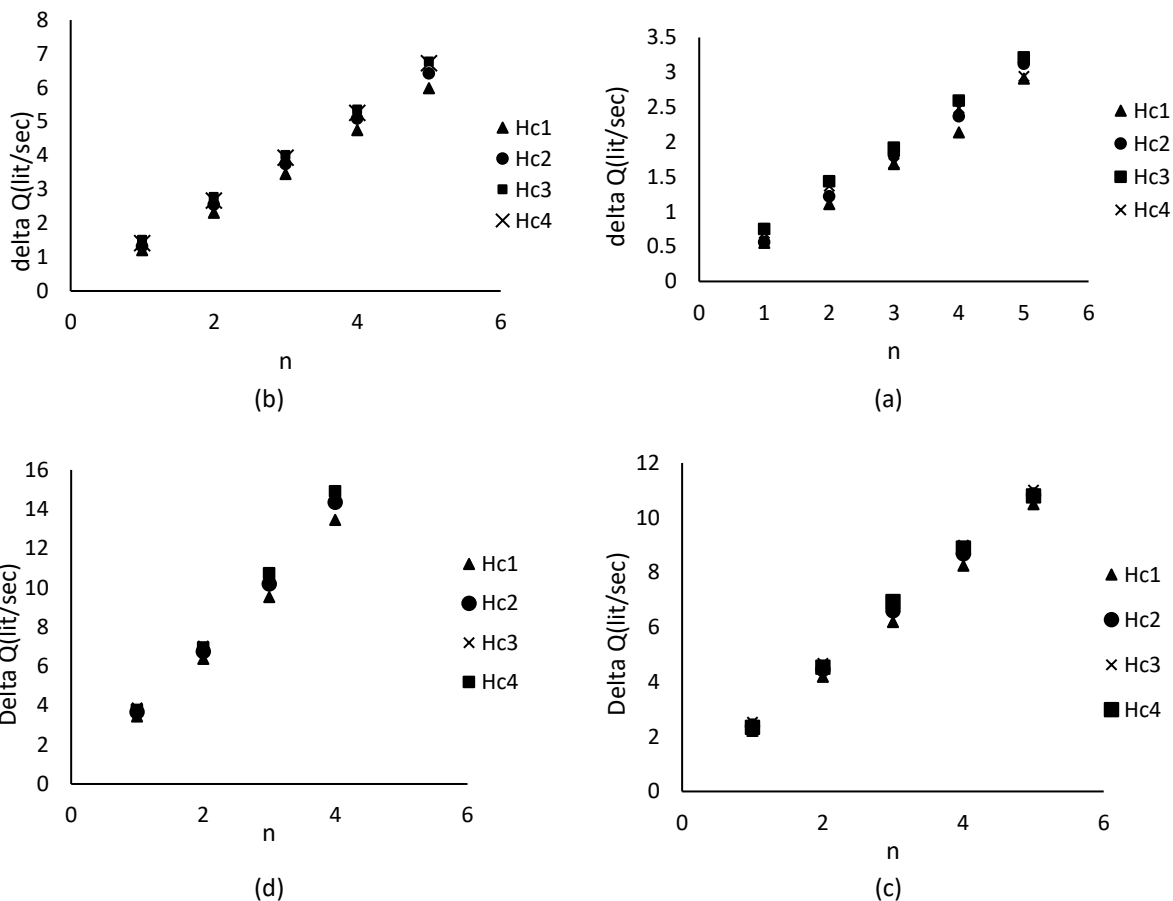


Fig. 6 The process of flow rate changes with the change in the number of openings and with the length of the side (a) two centimeters, (b) three centimeters, (c) four centimeters, (d) five centimeters

شکل ۶ روند تغییرپذیری‌های دبی با تغییر شمار روزنه و با طول ضلع (a) دو سانتی‌متر، (b) سه سانتی‌متر، (c) چهار سانتی‌متر، (d) پنج سانتی‌متر

از دو به سه روزنه  $1/85$  لیتر برثانیه و از سه به چهار روزنه  $2/02$  لیتر برثانیه افزایش در مقدارهای دبی آگذری در یک اشل شاهد ثابت مشاهده شده است. آن‌گاه محاسبه‌ها نشان داد به‌طور کلی به‌ازای افزایش هر یک روزنه به‌طور میانگین به میزان دو لیتر برثانیه به مقدارهای دبی آگذری اضافه می‌شود.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش شمار روزنه‌ها در هر اشل ثابت ( $H_c$ )، مقدارهای دبی آگذری افزایش می‌یابد. این روند در همه‌ی اشل‌های شاهد ( $H_c$ )، و در همه‌ی ابعاد روزنه‌ها مشاهده شد. در بررسی کمی میزان افزایش مقدارهای دبی آگذری (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایش‌های سرریز-روزنه و دبی شاهد) از تمامی آزمایش‌های انجام شده در حالت بدون روزنه، تک روزنه الی پنج روزنه، در اشل‌های مورد آزمایش و در همه‌ی ابعاد روزنه، میانگین حسابی به‌عمل آمده است. نتایج این میانگین‌گیری نشان داد با تغییر شمار روزنه در سرریز از حالت یک روزنه به دو روزنه به میزان  $1/75$  لیتر برثانیه و

۳-۳- بررسی روند تغییرپذیری‌های دبی آگذری (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایش‌های سرریز-روزنه و دبی شاهد) با تغییر ابعاد روزنه‌ها در نمودارهای شکل ۷، محور افقی طول ضلع روزنه (L) و

در اشل‌های شاهد ثابت (برابر جدول ۱) می‌باشد. دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه ۲ برآورد شده است.

محور عمودی  $\Delta Q$  و یا به عبارتی تفاضل دبی در هر کدام از آزمایش‌های سرریز-روزنه و دبی شاهد (سرریز بدون روزنه)

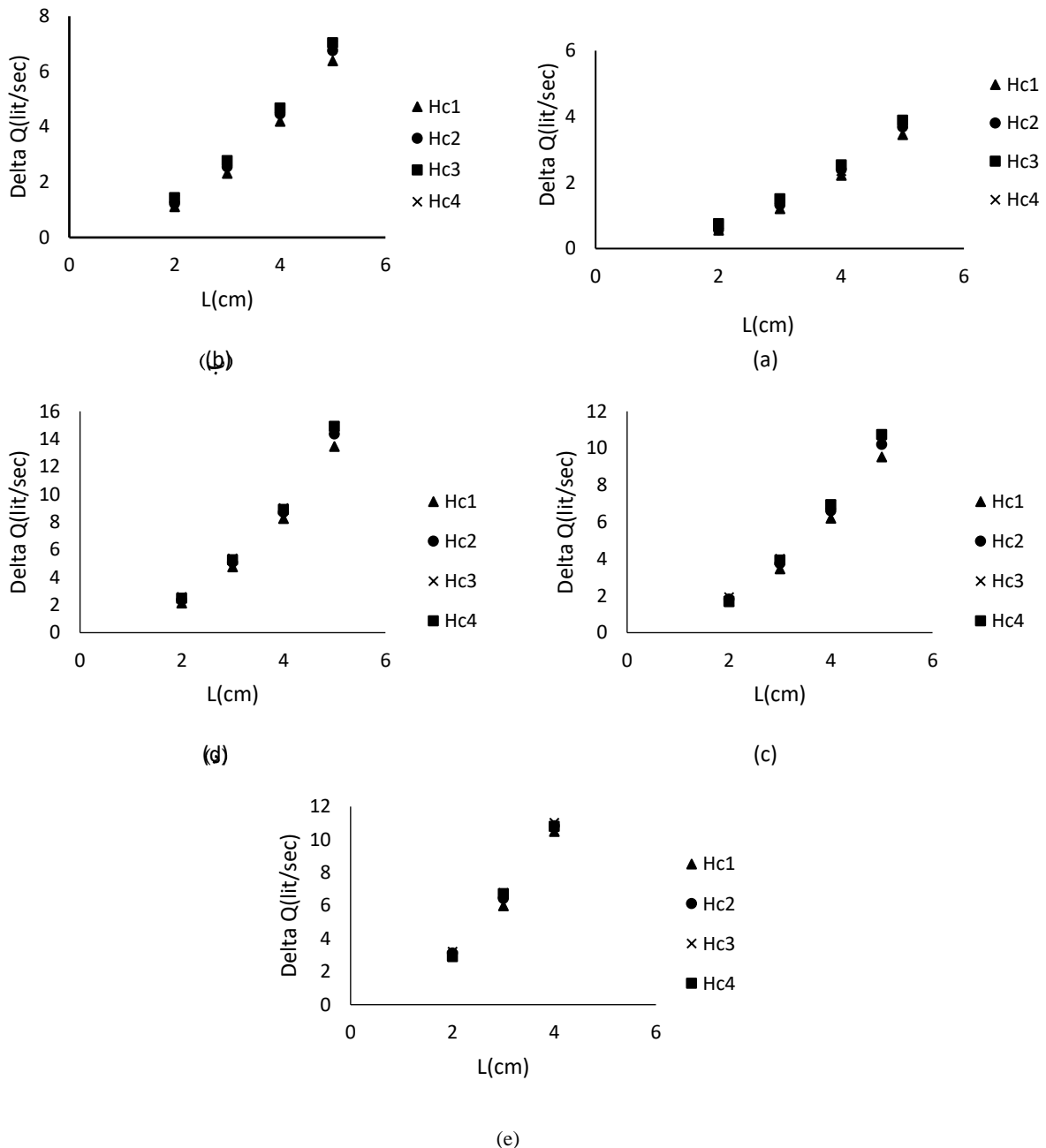


Fig. 7 The process of change of discharge by changing the length of the sides and by the number of stomach (a) one, (b) two, (c) three, (d) four, (e) five

شکل ۷ روند تغییرپذیری‌های دبی با تغییر طول ضلع روزنه و با شمار روزنه (a) یک، (b) دو، (c) سه، (d) چهار، (e) پنج

همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد روزنه‌ها در هر اشل ثابت ( $H_c$ )، مقدارهای دبی آگذری افزایش می‌یابد. این روند در همه‌ی اشل‌های شاهد ثابت و در همه‌ی شمار روزنه‌ها مشاهده شد. با تغییر ابعاد سرریز از حالت ابعاد  $2 \times 2$  به  $3 \times 3$  به میزان دو لیتر بر ثانیه و از حالت

$3 \times 3$  به  $4 \times 4$  به میزان  $2/73$  لیتر بر ثانیه و از حالت  $4 \times 4$  به  $5 \times 5$  به میزان  $2/19$  لیتر بر ثانیه افزایش در میزان دبی آگذری جریان مشاهده شده است. پس از آن محاسبه‌ها نشان داد که به‌طور کلی به‌ازای افزایش هر یک سانتی‌متر به ابعاد روزنه به‌طور میانگین به میزان  $2/3$  لیتر بر ثانیه به

دبی شاهد) با افزایش شمار روزنه در هر اشل ثابت ( $H_c$ )، به دست آمد که در شکل ۸ مشاهده می شود. همان گونه که مشاهده می شود با افزایش شمار روزنه به ازای یک اشل ثابت مطابق جدول ۱، میزان تغییرپذیری دبی آگذری (تفاضل دبی در هر کدام از آزمایش های سرریز-روزنه و دبی شاهد) افزایش می یابد. این روند در همه ی آزمایش ها در شمار و ابعاد مختلف مشاهده شد.



مقدارهای دبی آگذری جریان اضافه می شود.

### ۳-۴- بررسی روند تغییرپذیری دبی آگذری (تفاضل دبی در هر کدام از آزمایش های سرریز-روزنه و دبی شاهد) در هر تراز ثابت با تغییر شمار روزنه ها

با بررسی ها و محاسبه های انجام شده، روند تغییرپذیری (تفاضل دبی در هر کدام از آزمایش های سرریز-روزنه و

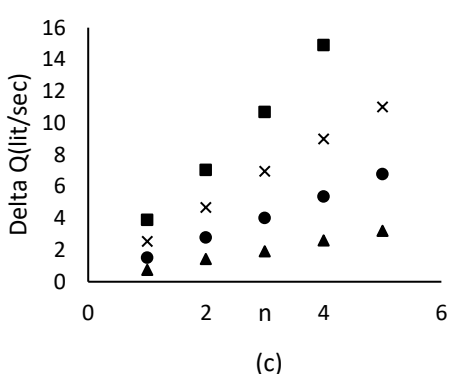
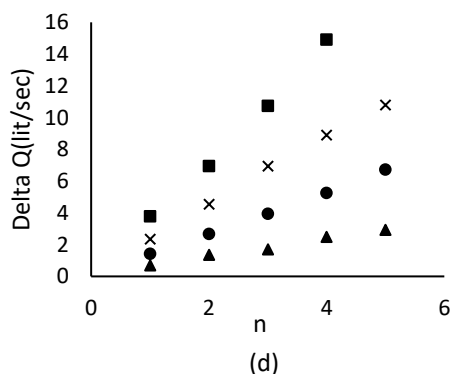
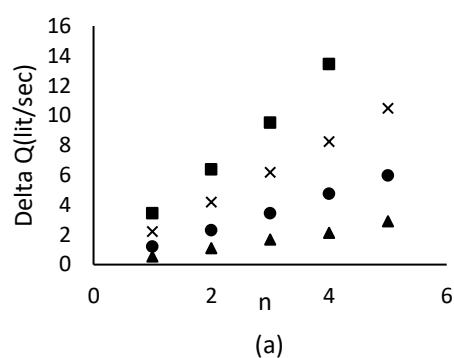


Fig. 8 The trend of flow rate changes in a fixed shale with changing the number of openings and with shale (a) HC1, (b) HC2, (c) HC3, (d) HC4

شکل ۸ روند تغییرپذیری دبی در یک اشل ثابت با تغییر شمار روزنه و با اشل (a) HC1, (b) HC2, (c) HC3, (d) HC4

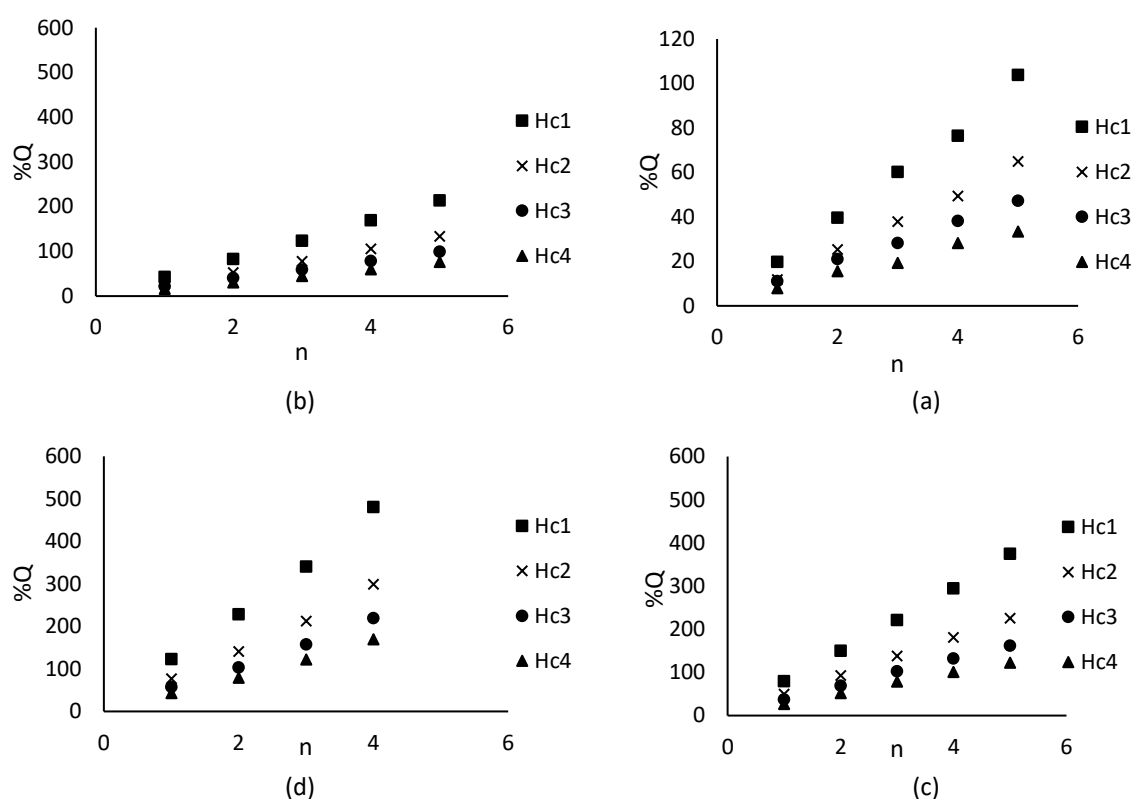
حاصل از آزمایش شاهد ( $Q_c$ ) در نظر گرفته شده است. سپس تغییرات درصد مازاد دبی عبوری در اشل های شاهد ثابت مورد بررسی قرار گرفته شد.

### ۳-۶- روند تغییرپذیری درصد دبی جریان ( $Q\%$ ) با افزایش شمار روزنه

در نمودارهای شکل ۹ روند تغییرپذیری درصد مازاد دبی جریان عبوری با افزایش شمار روزنه مشاهده می شود.

### ۳-۵- روند تغییرات درصد دبی جریان

در بررسی دوم محور عمودی را درصد مازاد دبی جریان عبوری (که درصد تفاوت دبی عبوری جریان در آزمایش های سرریز-روزنه با دبی حاصل از آزمایش های سرریز بدون روزنه در اشل های ثابت می باشد) در نظر گرفته و در حالت اول محور افقی را شمار روزنه ( $n$ ) و در حالت دوم نسبت طول ضلع روزنه به عرض آبراهه (که به اختصار طول نسبی نامیده می شود) و در حالت سوم دبی



**Fig. 9** The process of change of flow percentage with increasing number of openings and with side length of (a) two centimeters, (b) three centimeters, (c) four centimeters, (d) five centimeters

شکل ۹ روند تغییرپذیری درصد دبی با افزایش شمار روزنه و با طول ضلع (a) دو سانتی‌متر، (b) سه سانتی‌متر، (c) چهار سانتی‌متر، (d) پنج سانتی‌متر

جریان رفته رفته کاهش یافته است لذا مشاهده می‌شود در ترازهای بالاتر میزان درصد مازاد دبی عبوری کاهش می‌یابد و این روند برای همه‌ی آزمایش‌ها و همه‌ی ابعاد روزنه (از دو تا پنج سانتی‌متر) به‌طور جداگانه در هر کدام از نگاره‌های شکل ۹ مشاهده می‌شود.

در بررسی و مقایسه کمی میزان درصد افزایش دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه نسبت به آزمایش سرریز بدون روزنه (آزمایش شاهد) میانگین‌گیری انجام شد. سپس در همه آزمایش‌ها و دبی‌ها مشاهده شد که میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان از حالت یک روزنه به دو روزنه ۳۵/۶۷ درصد و از حالت دو به سه روزنه ۳۷/۴۸ درصد و از حالت سه روزنه به چهار روزنه به میزان ۴۱/۳۱ درصد افزایش یافته است و به‌طور کلی با افزودن هر یک روزنه‌ای که در انتهای سرریز ایجاد می‌شود، به طور میانگین به میزان ۳۸/۱۵ درصد دبی را در یک تراز ثابت افزایش داده است.

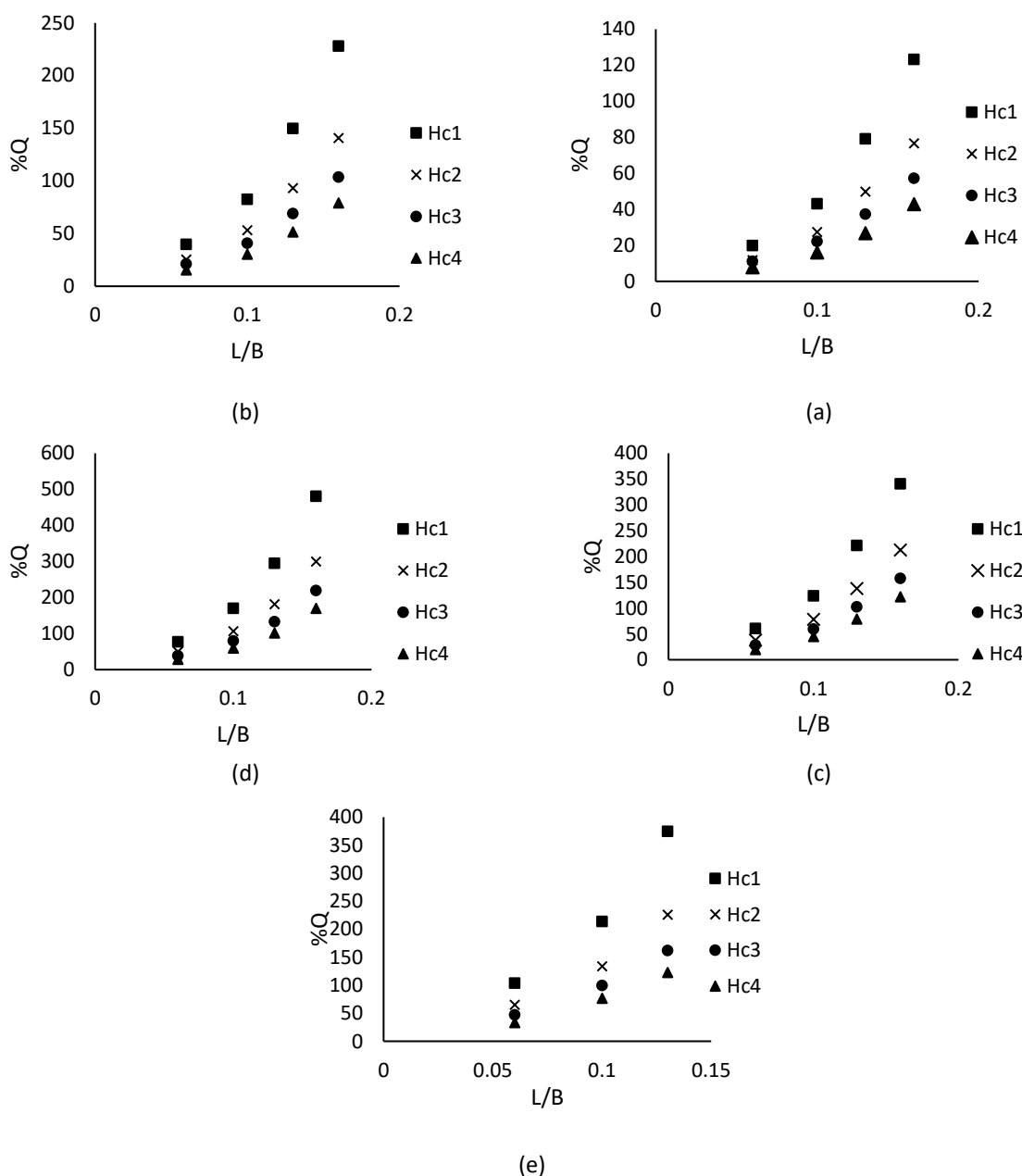
محور افقی شمار روزنه و محور عمودی درصد مازاد دبی عبوری جریان می‌باشد.

نمودارهای شکل ۹ روند تغییرپذیری درصد دبی جریان مازاد عبوری ناشی از قرار دادن روزنه و همچنین تغییر در شمار روزنه در یک اشل شاهد ثابت (برابر جدول ۱) مربوط به آزمایش شاهد (برابر جدول ۲) و در ابعاد مختلف در نمودارهایی جداگانه مشاهده می‌شود. درصد دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه ۳ برآورد شده است. برای برآورد میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه نسبت به آزمایش سرریز بدون روزنه (آزمایش شاهد)، همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۹ مشاهده می‌شود بررسی‌های لازم انجام و آن‌گاه مشاهده شد که با افزایش شمار روزنه از حالت یک روزنه الی پنج روزنه، درصد مازاد دبی عبوری جریان در یک اشل شاهد یا تراز ثابت افزایش می‌یابد. لیکن با تغییر تراز از تراز شاهد به تراز شاهد بعدی، میزان درصد مازاد دبی عبوری

در این تحقیق تاثیر تغییر ابعاد نسبی روزنه بر درصد مازاد دبی جریان عبوری در شمار مختلف روزنه و همچنین در دبی‌های مختلف بررسی شد. نتایج این بخش در ادامه آورده می‌شود.

### ۳-۷- روند تغییرپذیری درصد دبی جریان (%Q) با افزایش ابعاد روزنه

برای بررسی تاثیر ابعاد روزنه بر درصد مازاد دبی عبوری جریان از نسبت طول ضلع روزنه به عرض فلوم (که به اختصار طول نسبی روزنه نامیده می‌شود) استفاده شد. لذا



**Fig. 10** The trend of changes in the percentage of flow rate with the increase of apertures and with the number of apertures (a) one, (b) two, (c) three, (d) four, (e) five

شکل ۱۰ روند تغییرپذیری درصد دبی عبوری با افزایش ابعاد روزنه و با شمار روزنه (a) یک، (b) دو، (c) سه، (d) چهار، (e) پنج

شاهد در جدول ۱ و در ابعاد مختلف در نمودارهایی جداگانه مشاهده می‌شود. درصد دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه ۳ برآورد شده است. محور افقی طول

در نمودارهای شکل ۱۰ روند تغییرپذیری درصد دبی جریان مازاد عبوری ناشی از قرار دادن روزنه و همچنین تغییر در ابعاد روزنه در یک اشل ثابت مربوط به آزمایش

آزمایش شاهد و محور عمودی تغییرپذیری درصد دبی جریان مازاد عبوری می‌باشد. در این نمودارها روند تغییرات درصد دبی جریان مازاد عبوری نسبت به دبی جریان در آزمایش شاهد مشاهده می‌شود. درصد دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه ۳ برآورد شده است. در بررسی میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان، همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۱۱ مشاهده می‌شود با افزایش دبی جریان عبوری، میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان کاهش می‌یابد و به عبارتی دیگر در دبی‌های بالاتر در یک تراز شاهد ثابت، هنگامی که روزه‌ای ایجاد می‌شود میزان درصد دبی عبوری افزایشی در مقایسه با هنگامی که دبی کمتری عبور داده می‌شود، کمتر می‌باشد. همچنین با افزایش دبی رفته رفته تاثیر روزه بر درصد دبی عبوری کم‌رنگ‌تر گردیده است.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی و مقایسه جامع آزمایشگاهی تاثیر شمار و ابعاد روزه‌ی مربعی شکل در سازه ترکیبی سرریز-روزنه بر روند تغییرپذیری دبی آبگذری (تفاضل دبی در هر کدام از آزمایش‌های سرریز-روزنه و دبی شاهد) و درصد دبی مازاد جریان عبوری در شرایط جریان آزاد پرداخته شده است. به عبارتی دیگر در این تحقیق بر روند و میزان تغییرپذیری‌های دبی آبگذری پرداخته شد که برای بررسی میزان دبی عبوری نتایج در دو قالب تفاضل دبی و درصد تفاضل دبی پرداخته شده است. به شکل اختصاصی نوآوری این پژوهش آن بوده است که به بررسی شمار و ابعاد روزه پرداخته و با تاکید بر این دو فراسنجه بررسی و محاسبه‌های لازم انجام شده است. نتایج این محاسبه‌ها نشان داد که با افزایش شمار روزه و ابعاد روزه در هر تراز ثابت، مقدارهای دبی آبگذری افزایش می‌یابد و به‌طور کلی به‌ازای افزایش هر یک روزه به‌طور میانگین به میزان دو لیتر بر ثانیه و به‌ازای افزایش هر یک سانتی‌متر به ابعاد روزه به‌طور میانگین به میزان  $\frac{2}{3}$  لیتر بر ثانیه به مقدارهای دبی آبگذری اضافه می‌شود. همچنین محاسبه‌های ناشی از بررسی روند تغییرپذیری دبی آبگذری (تفاضل دبی در هر کدام از آزمایش‌های سرریز-

نسبی روزه و محور عمودی درصد مازاد دبی عبوری جریان می‌باشد. در این تحقیق برای برآورد میزان درصد افزایش دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه نسبت به آزمایش سرریز بدون روزه (آزمایش شاهد)، همان‌گونه که در نمودارهای شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، بررسی‌های لازم انجام و پس از آن محاسبه‌ها نشان داد که با افزایش طول نسبی روزه ( $L/B$ )، از ابعاد دو سانتی‌متر الی پنج سانتی‌متر، درصد مازاد دبی عبوری جریان در یک اشل یا تراز ثابت افزایش می‌یابد. لیکن با تغییر تراز از حالت تراز شاهد به تراز شاهد بعدی، میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان رفته رفته کاهش یافته است. لذا مشاهده می‌شود در ترازهای بالاتر میزان درصد مازاد دبی عبوری کاهش می‌یابد و این روند برای همه‌ی آزمایش‌ها و همه‌ی ابعاد روزه (از دو تا پنج سانتی‌متر) به‌طور جداگانه در هر کدام از نگاره‌های شکل ۱۰ مشاهده می‌شود.

برای بررسی و مقایسه کمی میزان درصد افزایش دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه در ابعاد مختلف نسبت به آزمایش سرریز بدون روزه (آزمایش شاهد)، در آغاز میانگین‌گیری انجام و پس از آن در همه‌ی آزمایش‌ها و دبی‌ها مشاهده شد که میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان در سرریزی با ابعاد دو به سه سانتی‌متر به میزان ۴۱ درصد و از سه به چهار روزه به میزان ۵۷ درصد افزایش یافته است. بطور میانگین با افزایش ابعاد روزه به میزان یک سانتی‌متر در محدوده این تحقیق، در هر مرحله به میزان ۴۹ درصد دبی را افزایش داده است.

#### ۳-۸- روند تغییرپذیری درصد دبی جریان ( $Q$ ) با افزایش دبی عبوری

در نمودارهای شکل ۱۱ روند تغییرپذیری درصد مازاد دبی عبوری جریان ناشی از نصب روزه با افزایش دبی عبوری جریان در آزمایش شاهد (سرریز بدون روزه) مشاهده می‌شود. فراسنجه ( $Q_C$ ) در محور افقی دبی جریان عبوری از سرریز بدون روزه (آزمایش شاهد) و فراسنجه ( $Q$ ) در محور عمودی درصد مازاد دبی عبوری جریان ناشی از ایجاد روزه می‌شود. در نمودارهای شکل ۱۱ محور افقی دبی جریان در

همچنین افزایش هر یک سانتی‌متر به ابعاد روزنه، درصد دبی مازاد عبوری را به ۴۹ درصد رسانده است. لیکن با تغییر تراز شاهد به تراز شاهد بعدی، میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان کاهش یافته است.

در ادامه‌ی محاسبه‌های ناشی از بررسی تغییرپذیری درصد دبی جریان مازاد عبوری نسبت به دبی در آزمایش شاهد نشان داده شده است که با افزایش دبی جریان عبوری و با تغییر تراز، میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان کاهش می‌یابد و همچنین با افزایش دبی جریان، تاثیر روزنه بر درصد مازاد دبی عبوری کمرنگ‌تر شده است.

روزنه و دبی شاهد) با افزایش شمار روزنه در هر اشل ثابت نشان داد که با افزایش شمار روزنه به ازای یک اشل ثابت، میزان تغییرپذیری‌های دبی‌آگذری (تفاضل دبی در هر کدام از آزمایش‌های سرریز-روزنه و دبی شاهد) افزایش می‌یابد. در ادامه به بررسی و محاسبه درصد مازاد دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه نسبت به آزمایش سرریز بدون روزنه (آزمایش شاهد) پرداخته شد. نتیجه نشان داد با افزایش شمار و ابعاد روزنه درصد مازاد دبی عبوری جریان، در یک تراز ثابت افزایش یافته و با افزودن هر یک روزنه به میزان ۳۸/۱۵ درصد دبی مازاد داشته است و

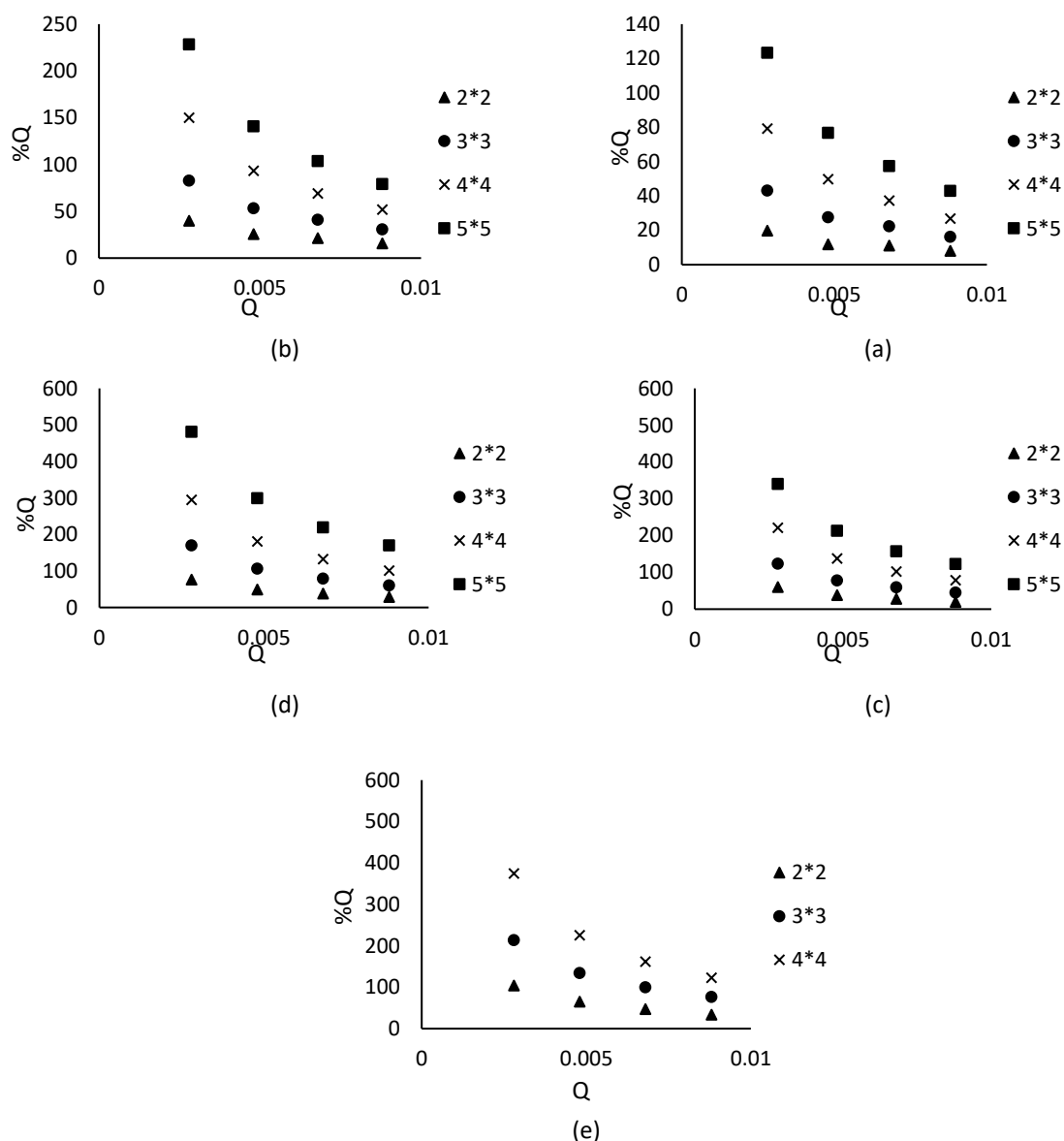


Fig. 11 The trend of changes in the percentage of flow rate with increasing flow rate and with the number of holes (a) one, (b) two, (c) three, (d) four, (e) five

شکل ۱۱ روند تغییرپذیری درصد دبی عبوری با افزایش دبی عبوری و با شمار روزنه (a) یک، (b) دو، (c) سه، (d) چهار، (e) پنج

Broad-Crested Weirs with Varying Side Slopes” by JE Sargison and A. Percy. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 136(7), 508-509.

Ferro, V. (2000). Simultaneous flow over and under a gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(3), 190-193.

Hoseini, S.H. (2014). Experimental investigation of flow over a triangular broad-crested weir. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 20(2), 230-237.

Hayawi, H., Yahia, A. & Hayawi, G. (2008). Free combined flow over a triangular weir and under rectangular gate. *Damascus University Journal*, 24(1), 9-22.

Negm, A.-A.M., Al-Brahim, A. & Alhamid, A. (2002). Combined-free flow over weirs and below gates. *Journal of Hydraulic Research*, 40(3), 359-365.

Negm, A. (1995). Characteristics of combined flow over weirs and under gates with unequal contractions. In: *Advances in Hydrosience and Engineering*, Tsinghua University Press, Beijing, China, 285-292.

Pesaraklo, M. & Emadi, A. (2015). 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. (In Persian)

Piratheepan, M., Winston, N. & Pathirana, K. (2006). Discharge measurements in open channels using compound sharp-crested weirs. *Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 40(3), 31-38.

Shabani, E., Zahiri, A., Dehghani, A.A. & Meftah Halghi, M. (2018). Experimental investigation of flow discharge coefficient for combined system of compound weirs-orifices. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(3), 209-224.

Salehi, S. & Azimi, A.H. (2019). Discharge characteristics of weir-orifice and weir-gate structures. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 145(11), 04019025, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0001421](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001421).

## ۵- فهرست نشانه‌ها

$Q_E$ (l/s)	دبی سازه ترکیبی سرریز-روزنه
$\Delta Q$ (l/s)	تغییرپذیری دبی جریان
$Y$ (m)	عمق جریان بر روی سرریز
$L$ (cm)	طول ضلع روزنه
$Q_c$ (ls )	دبی آزمایش شاهد
$n$	شمار روزنه
$\%Q$	درصد تغییرپذیری دبی جریان عبور
$H_c$ (m)	بار سرریز(اشل در آزمایش شاهد)
$H$ (m)	کل تراز بالادست

## ۶- منبع‌ها

Altan-Sakarya, A.B. & Kökpınar, M.A. (2013). Computation of discharge for simultaneous flow over weirs and below gates (H-weirs). *Flow Measurement and Instrumentation*, 29, 32-38.

Ali, M.S., Qadri, A. & Mansoor, T. (2015). Flow characteristics of a triangular sharp crested weir. In: *HYDRO 2015 International Conference*, Roorkee, India.

Al-Suhili, R.H. & Shwana, A.J. (2013). Prediction of the discharge coefficient for a Cipolletti weir with rectangular bottom opening. *Journal of Engineering Research and Applications*, 4(1), 80-89.

Akhbari, A., Zaji, A.H., Azimi, H. & Vafaeifard, M. (2017). Predicting the discharge coefficient of triangular plan form weirs using radian basis function and M5' methods. *Journal of Applied Research in Water and Wastewater*, 4(1), 281-289.

Achour, B. & Amara, L. (2022). Triangular Broad Crested Weir Theory and Experiment. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, 49, 37-66.

Alhamid, A., Negm, A.-A. M. & Al-Brahim, A. (1997). Discharge equation for proposed self-cleaning device. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 9(1), 13-23.

Balouchi, B. & Rakhshandehroo, G. (2018). Using physical and soft computing models to evaluate discharge coefficient for combined weir-gate structures under free flow conditions. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42, 427-438.

Balouchi, B. & Zinivand, M. (2012). Experimental investigation on discharge coefficient for combined structure of weir-gate under flood conditions. *Water and Soil Science*, 22(2), 152-164.

Chanson, H. (2010). Discussion of “Hydraulics of

