Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics

Research Article
https://doi.org

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

Seiedeh Negar Sadat Ahmadi[1], Mehdi Zeinivand[2*], Mehdi Ghomeshi[3]

1- Master's student in River and Ecosystem Engineering, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2- Assistant Professor of Water Structures Department, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3- Professor of the Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Abstract

Introduction: With the ever-increasing human need for water as a vital need and the development of agriculture and industry, as well as the water crisis that has arisen in most regions of the world, it is necessary to look at the problem of water wastage and its distribution and transfer with a more detailed view and provide basic solutions. Water transfer in the agricultural sector is one of the most important issues in the water resources management sector and it is necessary to be sensitive in order to control the amount of consumption in this sector. In this way, 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. When there is 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:** In order to carry out the experiments of this research, the flume in the hydraulic laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz was carried out with the length, width and height of 0/5, 0/3 and 0/15 meters, respectively. 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. Finally, 20 models were designed and tested. Therefore, the weir in the case of five orifices with dimensions of 5×5cm is not designed due to the limitation of the width of the flume.

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 orifices 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: 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 orifices 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.

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

ویرایش نشده

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک

مقاله پژوهشی
https://doi.org/

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

سیده نگار سادات احمدی[۱]، مهدی زینی وند[۲*] ، مهدی قمشی[۳]

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.

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 به ازای 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 ۵۷درصد داشت. همچنین با افزایش تعداد روزنه از سه به چهار روزنه در یک اشل ثابت، این میزان درصد افزایش به طور تقریبی به ۴۲درصد 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

امروزه با توجه با رشد جمعیت و توسعه کشاورزی، ضرورت حفاظت و مدیریت از منابع آب بیش از هر زمان دیگری احساس می‌شود. بهینه سازی مصرف آب بیش از پیش مهم شده است لذا در این راستا جهت کاهش هدررفت آب اندازه‌گیری دقیق دبی جریان و انتقال صحیح آن نقش اصلی را ایفا می‌کند(Shabani et al.,2018). بدین ترتیب سازه‌هایی تحت عنوان سرریزها که از قدیمی‌ترین و ساده‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند توسط مهندسین هیدرولیک، جهت کنترل تراز سطح آب و اندازه‌گیری میزان جریان عبوری با دقت بالا، در شبکه‌های توزیع آب برای تخصیص مناسب حقابه کشاورزان نقش خود را به درستی ایفا کرده است. قرارگرفتن این سازه سرریز مثلثی در عرض یک کانال یا رودخانه به مرور زمان مسئله تجمع رسوبات در بالادست سرریزها موجب مشکلات عمده‌ای همچون کاهش ظرفیت آب در کانال‌ها و مخازن و کاهش ارتفاع موثر سرریز شده و همچنین سبب تغییر محسوس در میزان دبی جریان عبوری شده و در نتیجه موجب کاهش راندمان سازه مورد نظر می‌گردد. در اینصورت در سازه ترکیبی سرریز-روزنه که روزنه در قسمت تحتانی آن تعبیه شده می‌توان تا حدودی مسئله انباشته‌شدن رسوبات را در پشت سرریز حل نمود. لیکن بخش دیگری از رسوبات در دو طرف بالادست سریز همچنان وجود دارد که سبب ایجاد تلاطم در خروجی شده و موجب افت انرژی می‌گردد. همچنین با نظر به این نکته که سازه سرریز مثلثی برای دبی‌های کم مورد استفاده قرار میگیرد به هنگام وقوع سیلاب، با قرار دادن چند روزنه با ابعاد تعداد و ابعاد مشخص در قسمت تحتانی این سرریز این امکان وجود دارد که دبی به میزان بیشتری عبور داده شود. یکی از مسائل و مشکلات دیگر در سازه ترکیبی سرریز_روزنه که یک روزنه در قسمت تحتانی آن تعبیه شده این است که می‌توان تا حدودی مسئله انباشته‌شدن رسوبات را در پشت سرریز حل نمود. لیکن بخش دیگری از رسوبات

در دو طرف بالادست سریز همچنان وجود دارد که سبب ایجاد تلاطم در خروجی شده و موجب افت انرژی می‌گردد. لذا در این تحقیق با قرار دادن چند روزنه این موضوع حل شده است. Sakarya and Kokpinar (2013) آزمایشات خود را در شرایط جریان آزاد برروی 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. آن‌ها همچنین توانستند معادلات بدست آمده توسط سایر محققان از قبیل Negm و Ferro را برای مقایسه و تخمین دبی مورد استفاده قرار داده و با بررسی و مقایسه معادلات آنان به این نتیجه دست یافتند که همه‌ی مقادیر دبی مطابقت خوبی با داده‌های بدست آمده داشت.

Achour and Amara (2022) در مطالعات 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 سپس رابطه‌ای خطی بین دبی جریان تجربی (دبی واقعی) و دبی تئوری ارائه نمودند. 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 مقادیر زاویه راس سرریز همیشه روند افزایشی برای دبی با ارتفاع بالای سرریز وجود دارد. مقادیر 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 سازه 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 فشردگی 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 خصوصیات جریان ترکیبی آزاد در حالت سازه سرریز ترکیبی سرریز مستطیلی با روزنه مستطیلی شکل با فشردگی جانبی پرداخته سپس رابطه ای جهت تخمین ضریب دبی تخلیه جریان عبوری را برای سازه ترکیبی سرریز دریچه ارائه نمودند. Balouchi and zeinivand (2012) در مطالعات خود به بررسی آزمایشگاهی سازه سرریز مثلثی با روزنه مستطیلی پرداختند و سپس براساس داده‌های تجربی بدست آمده و مدل رگرسیونی، معادله‌ای جهت تخمین 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 ذوزنقه‌ای و مثلثی) با دریچه به این نتایج دست یافتند که به ازای تغییر سه زاویه متفاوت سرریز مثلثی به ۶۰و ۹۰ و ۱۱۵ درجه در یک بازشدگی برابر، زاویه ۹۰ درجه دارای ماکزیمم مقدار ضریب آبگذری نسبت به زوایای ۱۱۵و۶۰ 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 درسرریز با زاویه ۱۱۵ درجه بیشترین مقدار را دارد. Al-Suhili and Shwan (2013) به بررسی ضریب دبی جریان و خصوصیات هیدرولیکی سرریز ذوزنقه‌ای با روزنه‌های مستطیلی شکل پرداختند. آزمایشات آنان در شرایط جریان کاملا آزاد انجام گردید و نتایج بدست آمده نشان داد با افزایش سطح آب در بالادست سازه، میزان تلاطم در قسمت پایین‌دست افزایش می‌یابد و در نتیجه باعث حذف رسوبات انباشته شده می‌گردد. Piratheepan et al. (2006) در تحقیقات خود به بررسی آزمایشگاهی سازه سرریز مرکب مثلثی- مثلثی با زوایای راس۶۰,۹۰,۱۲۰,۱۵۰ درجه پرداختند. آنان همچنین رابطه‌ای دقیق جهت تخمین دبی جریان عبوری از این سازه مرکب ارائه نمودند. Hayawi (2008) مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی سازه سرریز مثلثی دارای روزنه مستطیلی در شرایط آزاد به ازای سه زاویه راس (۳۰، ۴۵، ۶۰) بررسی نمودند و نتایج خود را اینگونه شرح دادند که با افزایش زاویه راس سازه سرریز مثلثی، میزان ضریب دبی کاهش می‌یابد. Hoseini (2014) درتحقیقات خود به بررسی ضریب دبی تخلیه جریان در یک سازه سرریز مثلثی لبه‌پهن با هندسه‌های مختلف واقع در یک کانال اصلی با مقطع مستطیلی شکل پرداختند سپس پارامترهای موثر بر ضریب دبی جریان را استخراج نمودند.Akhbari et al. (2017) در تحقیقات خود به پیش‌بینی ضریب دبی جریان بر روی سرریز پلان‌مثلثی 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 تکنیک‌های رگرسیون چند متغیره بررسی‌های لازم را انجام دادند. Balouchi and Rakhshandehroo (2018) در آزمایشات خود به بررسی ۳۴ سازه ترکیبی سرریز-دریچه در شرایط آزاد پرداختند. نتایج آزمایشات آنان نشان داد که به‌ازای افزایش نسبت بدون بعد 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 پارامترهای موثر مربوط به جریان و هندسه مدل بر جریان عبوری پرداخت فرض وی 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 نمودند.

نوآوری این تحقیق این بوده است که تغییر تعداد و ابعاد روزنه در سرریز مثلثی لبه تیز سبب تغییر محسوس دبی عبوری جریان و درصد مازاد دبی عبوری شده است و تغییرات در اندازه و تعداد این دو پارامتر بر عملکرد این سازه مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است.از گذشته تاکنون برروی اثر تعداد و ابعاد روزنه در سرریز مثلثی لبه تیز با زاویه راس ۹۰ درجه مطالعاتی صورت نگرفته است. لذا هدف اصلی در این تحقیق بررسی تغییر دو پارامتر ابعاد و تعداد روزنه‌ی مربع شکل در سرریز لبه‌تیز مثلثی با زاویه‌ی راس۹۰درجه بر میزان و روند تغییر آبگذری این سازه در شرایط کاملا آزاد پرداخته شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجهیزات آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر به منظور دست یابی به دقت بالا و کاهش میزان خطا از وسایل مناسب و استانداردی با توجه به امکانات آزمایشگاهی صورت گرفته است بدین منظور آزمایشات این تحقیق همگی در آزمایشگاه دانشکده علوم آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید. فلوم به کار گرفته شده در این تحقیق علمی با طول و عرض و ارتفاع به ترتیب برابر ۱۵، ۰/۳، ۰/۵ مترانجام گردید. 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 نوسانات و تلاطم جریان را کاهش دهد. محل تامین آب این فلوم مورد استفاده بصورت مخازن متصل به هم و در کنار فلوم می‌باشد. در این تحقیق جهت ایجاد شرایط جریان آزاد در پایین دست سازه، ابتدا در فلوم مورد نظر جریان با حداکثر دبی عبورداده شد سپس مشاهده گردید عمق جریان ۱۲ سانتی‌متر می‌باشد. بنابراین بستر فلوم به ارتفاع۱۵ سانتی متر و به طول سه متر از ابتدای فلوم با استفاده از صفحاتی 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 اولتراسونیک انجام گردید. دبی جریان توسط یک شیر فلکه که بر روی لوله ورودی به فلوم نصب شده بود، تنظیم گردید. برای اندازه گیری عمق جریان، از یک عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده گردید. شکل ۱ شماتیک 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 گردید که در فاصله سه متری از ابتدای فلوم و در موقعیت انتهای بالا آمدگی بستر، قرار داده شدند. در تمامی آزمایش‌ها، موقعیت سرریز ثابت بود. قسمت بالای سرریز لبه تیز از زاویه راس ۹۰ درجه استفاده شد و این زاویه راس در تمامی آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد. جهت رسیدن به اهداف این تحقیق و بررسی تاثیر تعداد و ابعاد روزنه در قسمت تحتانی سرریزها روزنه‌هایی تعبیه شد. جهت جلوگیری از انحنا یا خم شدن سرریزها، یک تیغه نگه دارنده ۹۰ درجه به صورت عرضی روی قسمت بیرونی سرریز به گونه‌ای نصب شد که علاوه‌بر اینکه تاثیری بر روی عبور جریان نداشته باشد، مانع از خم شدن عرضی بدنه سرریز گردد. جهت بررسی اثر تعداد 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 تعداد و این ابعاد، محدودیت عرض فلوم(عرض کانال) می‌باشد که ۳۰ سانتی متر بوده و امکان افزایش تعداد و ابعاد ممکن نبود. با توجه

به همین محدودیت، امکان ساخت سرریز مثلثی لبه تیز با تعداد پنج روزنه به طول ضلع پنج سانتی‌متر نیز ممکن نبوده و این مدل سرریز-روزنه حذف گردید. لذا سرریزها از یک تا پنج روزنه و برای هر کدام ابعاد روزنه‌ها از دو تا پنج سانتی‌متر تغییر کرد. دراین تحقیق یک مدل سرریز بدون روزنه را تحت 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.

Fig. 2 Raised bed upstream of the weir

شکل ۲ بستر بالا آمده در بالادست سرریز.

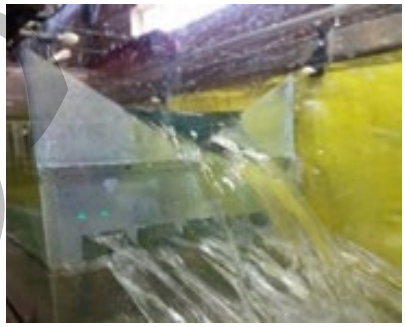

Fig. 3 Combined triangular weir used in the experiment.

شکل ۳ سرریز مثلثی ترکیبی بکار رفته در آزمایش.

۲-۲- شرح آزمایش

آزمایشی تحت عنوان آزمایش شاهد به گونه‌ای انجام گردید که ابتدا سرریز بدون روزنه در لبه انتهای بالا آمدگی بستر فلوم، با استفاده از گونیا بصورت عمود به جهت جریان، نصب و با استفاده از چسب آکواریوم کاملا آب‌بندگردید. ابتدا پمپ آب روشن شد و با استفاده از شیرفلکه مربوطه، دبی جریان طوری تنظیم گردید که حداقل ارتفاع آب بر روی سرریز پنج سانتی‌متر باشد تا بدین گونه اثر کشش سطحی حذف گردیده و موجب بروز خطا در آزمایشات نشود (Chanson et al.,2009). بنابراین دبی مربوط به این شرایط به عنوان دبی حداقل انتخاب گردید. سپس حداکثر دبی از فلوم عبور داده شد و این دبی سرریزها با یک الی پنج روزنه و همچنین با ابعاد دو تا پنج سانتی‌متر استخراج گردید. با تقسیم بازه دبی حداقل و حداکثر به تعداد مناسب، محاسبات مربوط به تعیین دبی‌های این تحقیق انجام گردید و محاسبه گردید که حداقل دبی ۲/۸ و حداکثر ۸/۸ لیتر برثانیه و فاصله بین دبی‌ها دو لیتر بر ثانیه بوده است. لذا برای آزمایش‌های شاهد (سرریز-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 مقادیر دبی(Q_c) بر حسب لیتر برثانیه و مقادیر اشل(H_c) و عمق جریان برروی سرریز (Y) بر حسب متر می‌باشد. در مرحله‌ی بعد از تعیین فواصل مربوط به آزمایش شاهد و تعیین دبی و کل تراز بالادست آن، رابطه (۱) جهت برآورد دبی سازه ترکیبی سرریز-روزنه (Q_E) در هر ابعاد (L) و در هر تعداد روزنه (n) به ازای اشل‌های موجود (H_c) در جدول ۱ استفاده گردید.

$$Q_E = aH^b + cH \qquad (۱)$$

در رابطه (۱) منظور از H، کل تراز بالادست می‌باشد که در رابطه‌ی فوق مقادیر اشل (H_c) در آزمایش سرریز بدون روزنه (آزمایش شاهد) جایگذاری می‌شود. مقادیر a,b,c با کمک نرم افزار SPSS در هر کدام از سرریزها با ابعاد و روزنه متفاوت در جدول۲ برآورد گردیده است.

در این تحقیق دو نوع بررسی انجام گردید. در بررسی اول جهت بیان صریح مقادیر خالص دبی عبوری، محاسبات براساس پارامترهای بعددار دبی-اشل انجام گردید، لذا در این بررسی گراف ها و محاسبات براساس پارامترهای بعددار انجام گردیده است. در بررسی اول جهت برآورد میزان تغییرات دبی جریان عبوری نسبت به آزمایش شاهد از رابطه‌ی زیر استفاده گردید.

$$\Delta Q = Q_E - Q_C \qquad (۲)$$

جدول ۲ پارامترهای استخراج شده از نرم‌افزار spss

Table 2 Parameters extracted from spss software

n	L×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

در رابطه ۲ پارامتر ΔQ تغییرات دبی جریان عبوری(برحسب لیتر برثانیه) و QE دبی عبوری که برای اشل آزمایشات شاهد از رابطه ۱ برآورد گردیده و پارامتر Qc دبی در آزمایش شاهد(سرریز بدون روزنه) می‌باشد که مقادیر آن در جدول ۱ گردآوری شده است. لذا در این تحقیق دو پارامتر تعداد روزنه (n) و ابعاد روزنه (L) به عنوان دو پارامتر موثر در تغییرات دبی (ΔQ) که دارای بعد می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفته است.

در بررسی دوم جهت برآورد میزان درصد تغییرات دبی، از رابطه ۳ استفاده گردید. رابطه درصد دبی عبوری با لحاظ کردن روزنه با ابعاد اشاره شده، بصورت زیر می‌باشد:

$$\%Q = \frac{Q_E - Q_C}{Q_C} \times 100 \qquad (۳)$$

با نظر به این نکته که درصد تغییرات دبی جریان عبوری ($\%Q$)، پارامتری بی بعد بوده لذا در این بررسی نیاز بوده است که طول ضلع روزنه(L) را نسبت به عرض فلوم(B) بی بعد نموده و بصورت پارامتر بی بعد (L/B) در نمودارها لحاظ شود. بنابراین دو پارامتر تعداد روزنه(n) و طول نسبی روزنه(L/B) به عنوان پارامترهای موثر بر درصد دبی مورد بررسی قرار گرفته شده است.

در بررسی اول با توجه به بعددار بودن پارامتر ΔQ ، پارامتر موثر طول ضلع روزنه(L) نیازی به بی بعدسازی نداشته است.

۳- بحث و بررسی نتایج

۳-۱- بررسی تغییرات (دبی محاسباتی حاصل از آزمایش سرریز روزنه) با افزایش تعداد روزنه

در این تحقیق ابتدا به بررسی و مقایسه دبی عبوری جریان در یک سرریز بدون روزنه و سرریز ترکیبی با روزنه در قسمت تحتانی پرداخته شد و سپس مشاهده شد با افزایش ابعاد و تعداد روزنه‌ها در سازه ترکیبی سرریز-روزنه می‌توان شاهد تغییرات در میزان دبی آبگذری جریان بود.

درنمودارهای شکل ۱، محور افقی تعداد روزنه(n) و محور عمودی دبی محاسباتی حاصل از آزمایش سرریز روزنه می‌باشد که به ازای اشل‌های (H_c) ثابت در آزمایش شاهد مشاهده می‌شود.

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد روزنه به ازای یک اشل (H_c) ثابت، میزان دبی حاصل از آزمایش سرریز-روزنه افزایش می‌یابد. این روند در تمامی آزمایشات و ابعاد روزنه‌ها مشاهده گردید.

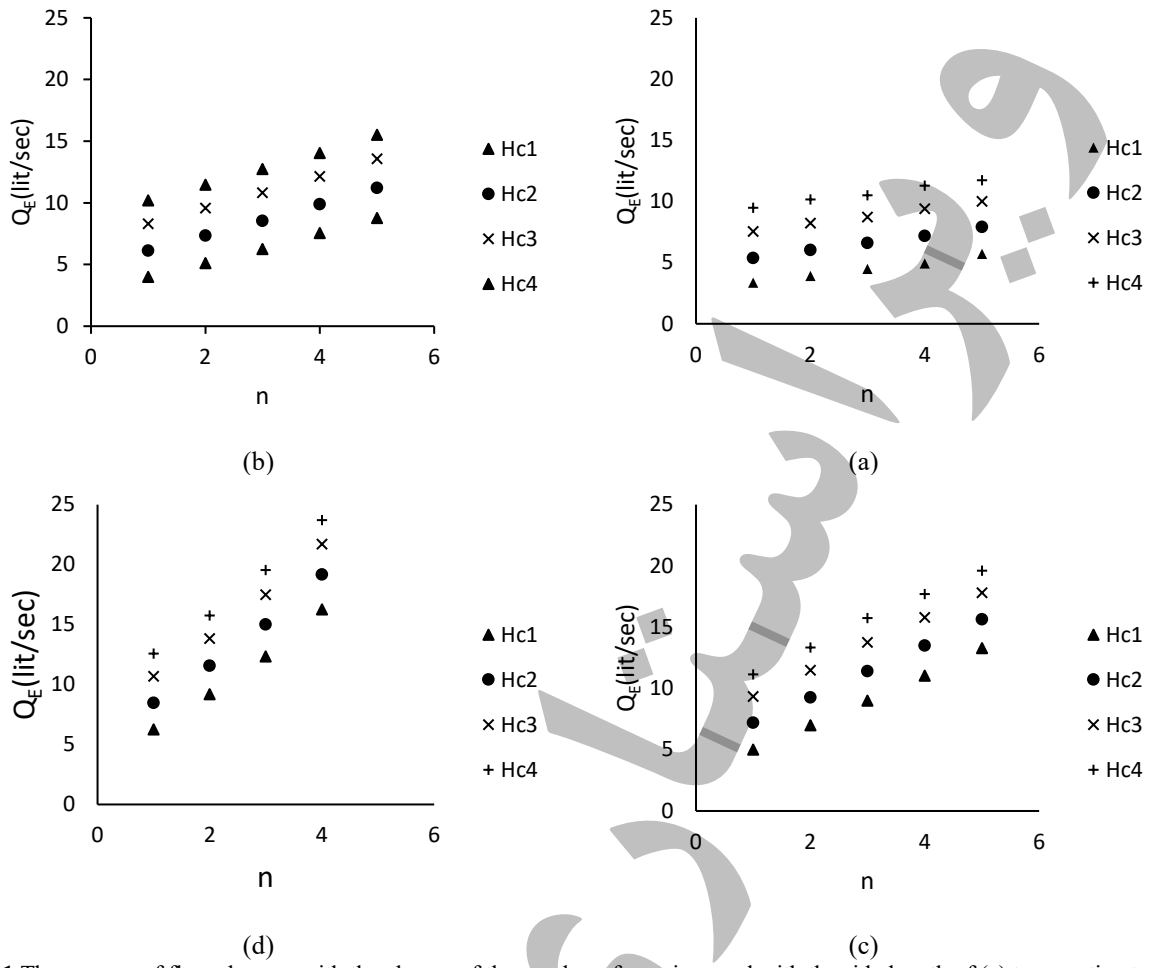

Fig. 1 The process of flow changes with the change of the number of openings and with the side length of (a) two centimeters and (b) three centimeters and (c) four centimeters and (d) five centimeters

شکل ۱ روند تغییرات دبی با افزایش با تغییر تعداد روزنه و با طول ضلع (a) دو سانتی‌متر (b) سه سانتی‌متر (c) چهار سانتی‌متر (d) پنج سانتی‌متر

۳-۲- بررسی تغییرات دبی (دبی محاسباتی حاصل از آزمایش سرریز روزنه) با افزایش ابعاد روزنه

درنمودارهای شکل ۱، محور افقی ابعاد روزنه(L) و محور عمودی دبی محاسباتی حاصل از آزمایش سرریز-روزنه می‌باشد که از رابطه۱ برآورد گردیده است.

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد روزنه به ازای یک اشل(H_c) ثابت مطابق جدول۱، میزان دبی حاصل از آزمایش سرریز-روزنه افزایش می‌یابد. این روند در تمامی آزمایش‌ها و در تعداد مختلف روزنه مشاهده گردید.

در ادامه جهت برررسی و مقایسه کمی و کیفی میزان تغییرات دبی جریان عبوری که یک عدد بعددار می‌باشد و همچنین درصد افزایش دبی عبوری که یک عدد بدون بعد بوده، محاسبات بعدی انجام گردید. هرکدام از آزمایشات سرریز-روزنه و دبی شاهد(سرریز بدون روزنه) در اشل‌های شاهد ثابت (مطابق جدول ۱) می‌باشد. دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه (۲) برآورد گردیده است.

همانگونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد روزنه‌ها در هر اشل ثابت(H_c)، مقادیر دبی آبگذری افزایش می‌یابد. این روند در تمامی اشل‌های شاهد(H_c)، و در تمامی ابعاد روزنه‌ها مشاهده شد. در بررسی کمی میزان افزایش مقادیر دبی آبگذری(تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات 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 تمامی ابعاد روزنه، متوسط حسابی بعمل آمده است. نتایج این متوسط گیری نشان داد با تغییر تعداد روزنه در سرریز از حالت یک روزنه به دو روزنه به میزان ۱/۷۵ لیتر برثانیه و از دو به سه روزنه ۱/۸۵ لیتر برثانیه و از سه به چهار روزنه ۲/۰۲ لیتر برثانیه افزایش در مقادیر

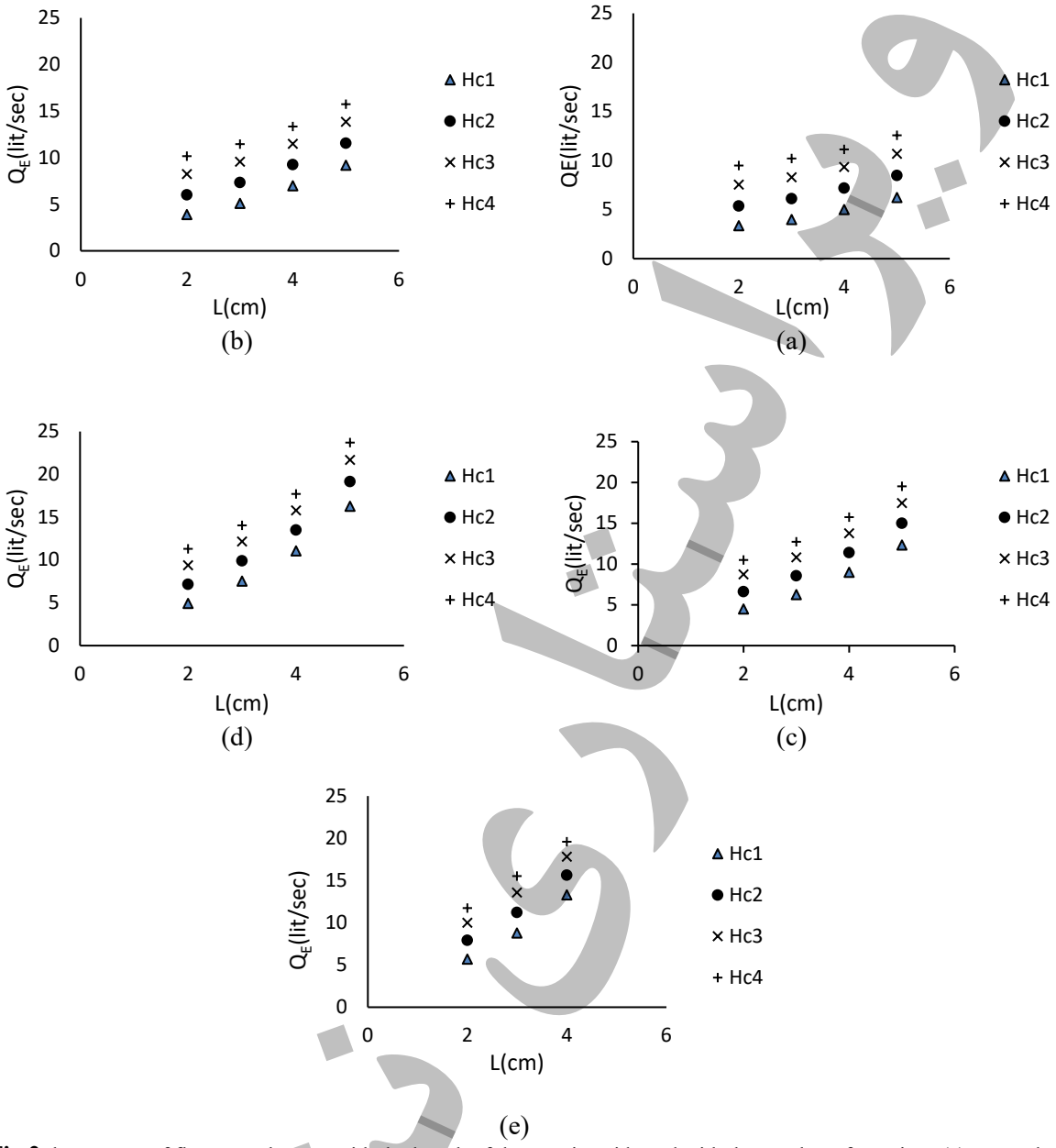

Fig 2 the process of flow rate changes with the length of the opening side and with the number of openings (a) one and (b) two and (c) three and (d) four and (e) five

شکل ۲ روند تغییرات دبی با تغییر طول ضلع روزنه و با تعداد روزنه (a) یک و (b) دو و (c) سه و (d) چهار و (e) پنج

دبی آبگذری در یک اشل شاهد ثابت مشاهده شده است. سپس محاسبات نشان داد بطور کلی به‌ازای افزایش هر یک روزنه به طور متوسط به میزان دو لیتر برثانیه به مقادیر دبی آبگذری اضافه می‌گردد.

۳-۳- بررسی روند تغییرات دبی آبگذری (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات سرریز-روزنه و دبی شاهد) با تغییر ابعاد روزنه ها

درنمودارهای شکل ۴، محور افقی طول ضلع روزنه(L) و محور عمودی ΔQ و یا به عبارتی تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات سرریز-روزنه و دبی شاهد(سرریز بدون روزنه) در اشل‌های شاهد ثابت (مطابق جدول ۱) می باشد. دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه ۲ برآورد گردیده است. همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش ابعاد روزنه‌ها در هر اشل ثابت(H_c)، مقادیر دبی آبگذری افزایش می‌یابد. این روند در تمامی اشل‌های شاهد ثابت و در تمامی

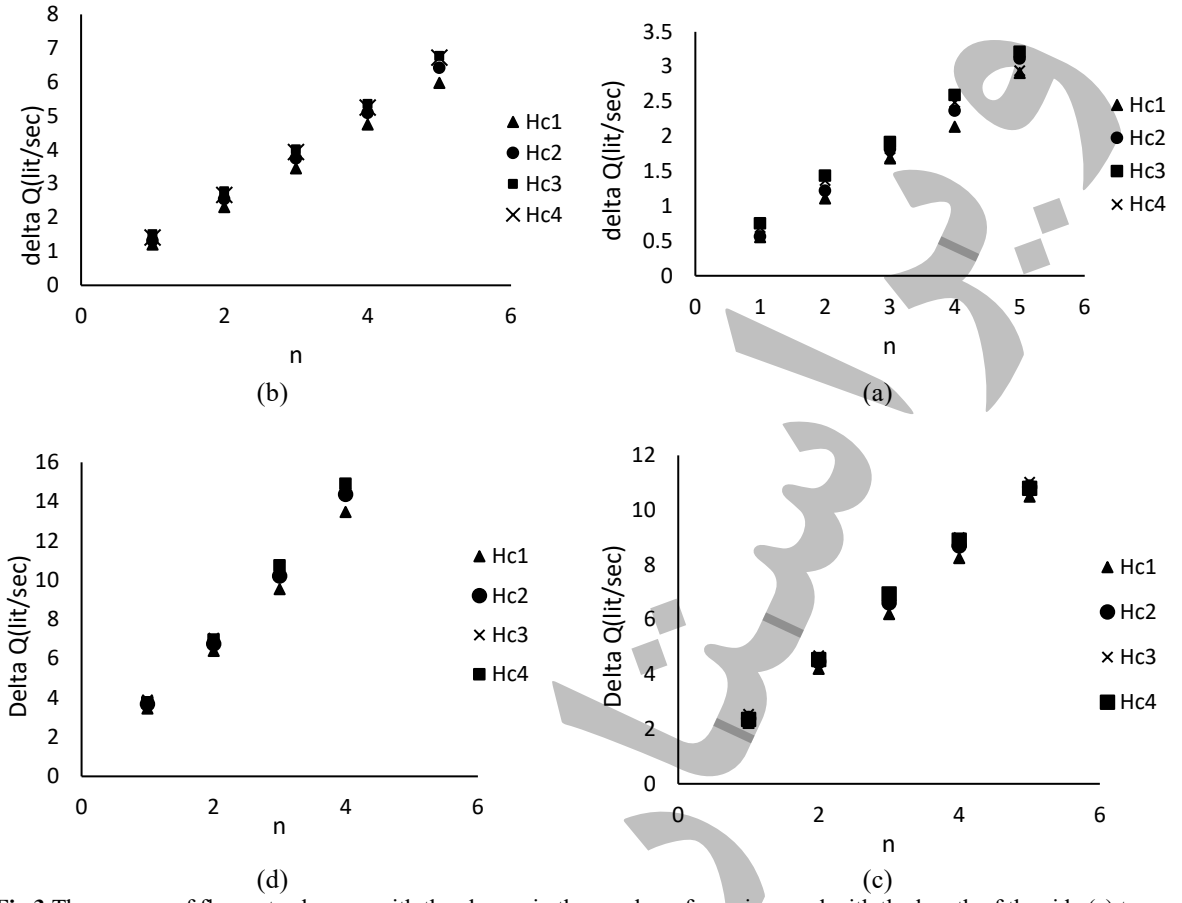

Fig 3 The process of flow rate changes with the change in the number of openings and with the length of the side (a) two centimeters (b) three centimeters (c) four centimeters (d) five centimeters

شکل ۳ روند تغییرات دبی با تغییر تعداد روزنه و با طول ضلع (a) دو سانتی‌متر (b) سه سانتی‌متر (c) چهار سانتی‌متر (d) پنج سانتی‌متر

تعداد روزنه ها مشاهده شد. با تغییر ابعاد سرریز از حالت ابعاد۲×۲به۳×۳ به میزان دو لیتر برثانیه و از حالت ۳×۳به۴×۴ به میزان۲/۷۳ لیتر برثانیه واز حالت ۴×۴ به ۵×۵ به میزان۲/۱۹ لیتربرثانیه افزایش در میزان دبی آبگذری جریان مشاهده شده است. سپس محاسبات نشان داد بطور کلی به ازای افزایش هر یک سانتی متر به ابعاد روزنه به طور متوسط به میزان ۲/۳ لیتربرثانیه به مقادیر دبی آبگذری جریان اضافه می‌گردد.

۳-۴- بررسی روند تغییرات دبی آبگذری (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات سرریز-روزنه و دبی شاهد) در هر تراز ثابت با تغییر تعداد روزنه ها

با بررسی ها و محاسبات انجام شده، روند تغییرات (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات سرریز-روزنه و دبی شاهد) با افزایش تعداد روزنه در هر اشل ثابت(H_c)، بدست آمد که در شکل ۵ مشاهده می‌شود.

همانگونه که مشاهده می شود با افزایش تعداد روزنه به ازای یک اشل ثابت مطابق جدول ۱، میزان تغییرات دبی آبگذری(تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات سرریز-روزنه و دبی شاهد) افزایش می یابد. این روند در تمامی آزمایشات و در تعداد و ابعاد مختلف مشاهده گردید.

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 آزمایشات سرریز-روزنه با دبی حاصل از آزمایشات سرریز بدون روزنه در اشل‌های ثابت می باشد) در نظر گرفته و در حالت اول محور افقی را تعداد روزنه(n) ودر حالت دوم نسبت طول ضلع روزنه به عرض کانال (که به اختصار طول نسبی نامیده می‌شود) و در حالت سوم دبی حاصل از آزمایش شاهد(Qc) در نظر گرفته شده است. سپس تغییرات درصد مازاد دبی عبوری در اشل‌های شاهد ثابت مورد بررسی قرار گرفته شد.

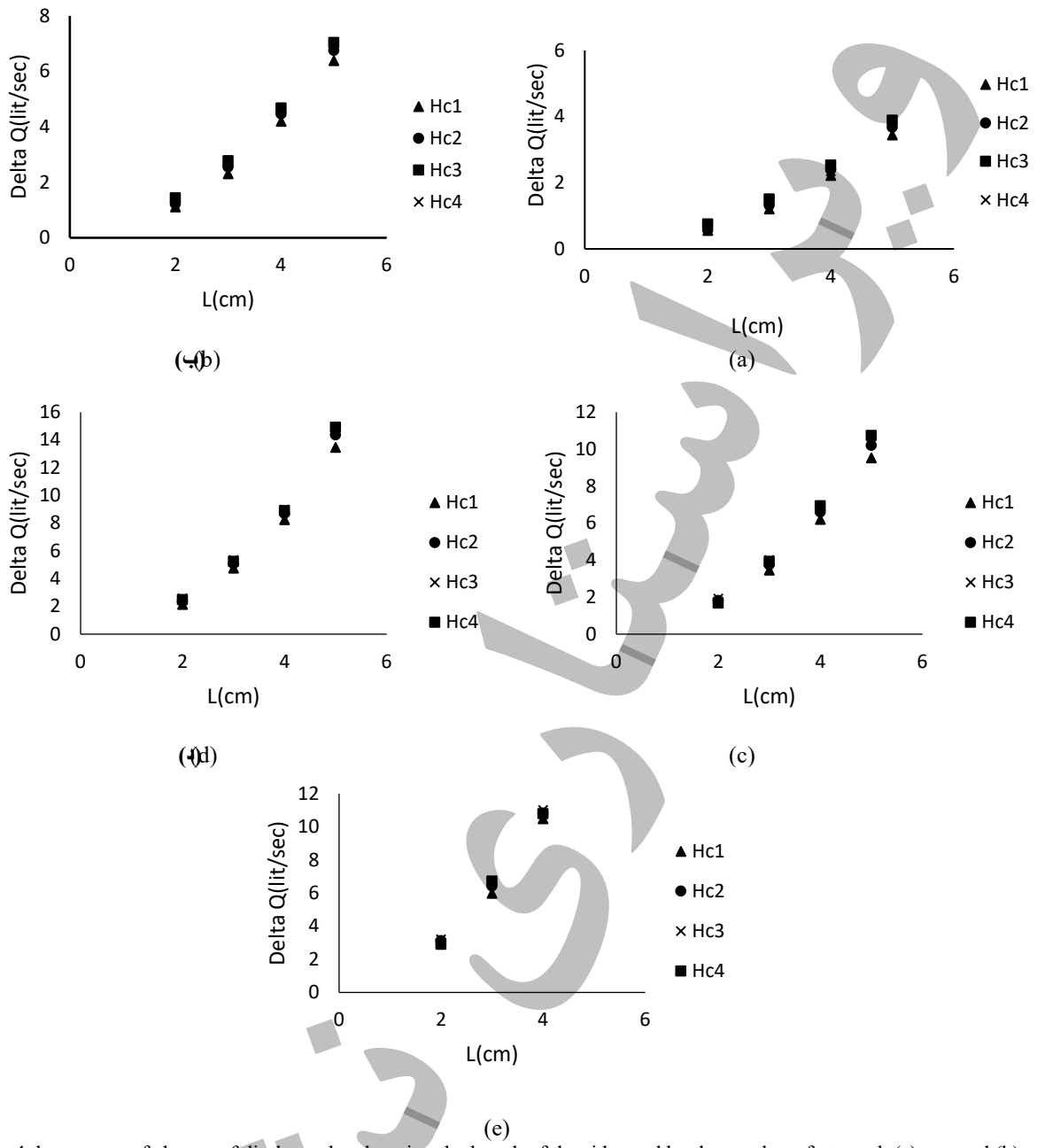

Fig. 4 the process of change of discharge by changing the length of the sides and by the number of stomach (a) one and (b) two and (c) three and (d) four and (e) five

شکل ۴ روند تغییرات دبی با تغییر طول ضلع روزنه و با تعداد روزنه (a) یک (b) دو (c) سه (d) چهار (e) پنج

۳-۶- روند تغییرات درصد دبی جریان(Q٪) با افزایش تعداد روزنه

در نمودارهای شکل ۶ روند تغییرات درصد مازاد دبی جریان عبوری با افزایش تعداد روزنه مشاهده می‌شود. محور افقی تعداد روزنه و محور عمودی درصد مازاد دبی عبوری جریان می‌باشد.

نمودارهای شکل ۶ روند تغییرات درصد دبی جریان مازاد عبوری ناشی از قرار دادن روزنه و همچنین تغییر در تعداد روزنه در یک اشل شاهد ثابت مطابق جدول ۱ مربوط به آزمایش شاهد مطابق جدول۲ و در ابعاد مختلف در نمودارهایی جداگانه مشاهده می‌شود. درصد دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه ۳ برآورد گردیده است.

جهت برآورد میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه نسبت به آزمایش سرریز بدون روزنه (آزمایش شاهد)، همانگونه که در نمودارهای شکل ۶ مشاهده می‌شود بررسی‌های لازم انجام گردید. سپس

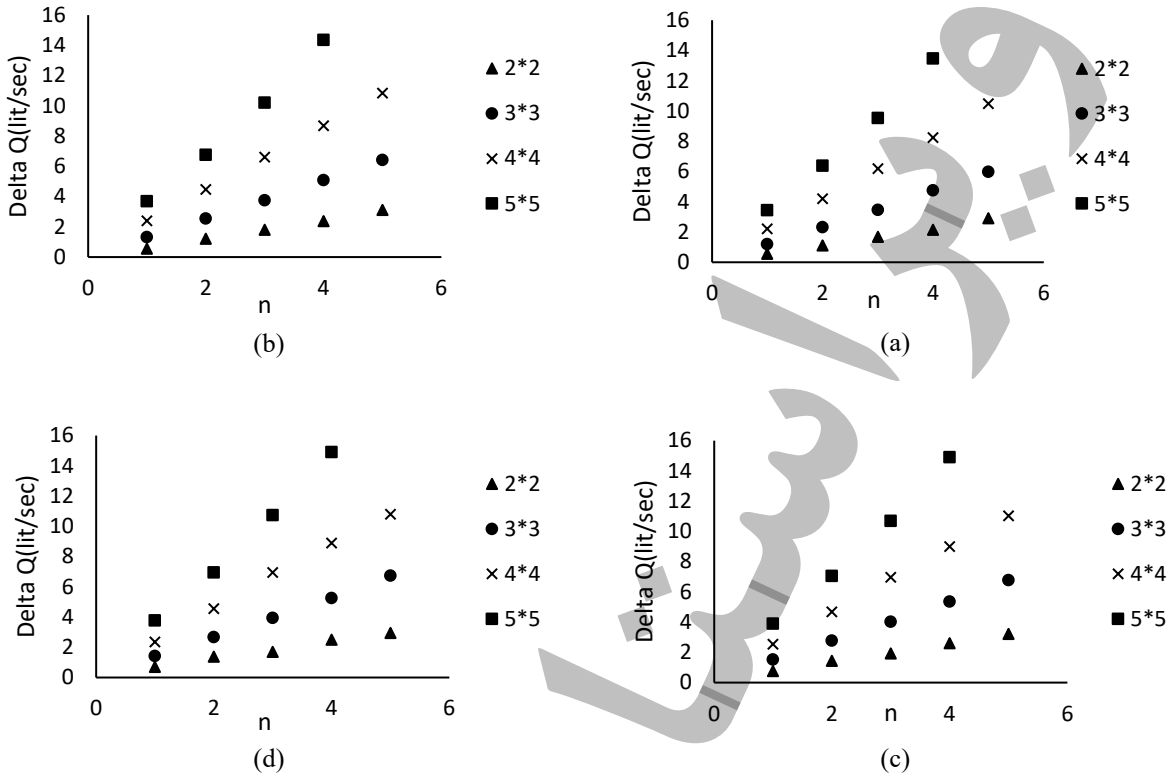

Fig. 5 The trend of flow rate changes in a fixed shale with changing the number of openings and with shale (a) H_{C1}, (b) H_{C2}, (c) H_{C3}, and (d) H_{C4}

شکل ۵ روند تغییرات دبی در یک اشل ثابت با تغییر تعداد روزنه و با اشل (a) H_{C1} و (b) H_{C2} و (c) H_{C3} و (d) H_{C4}

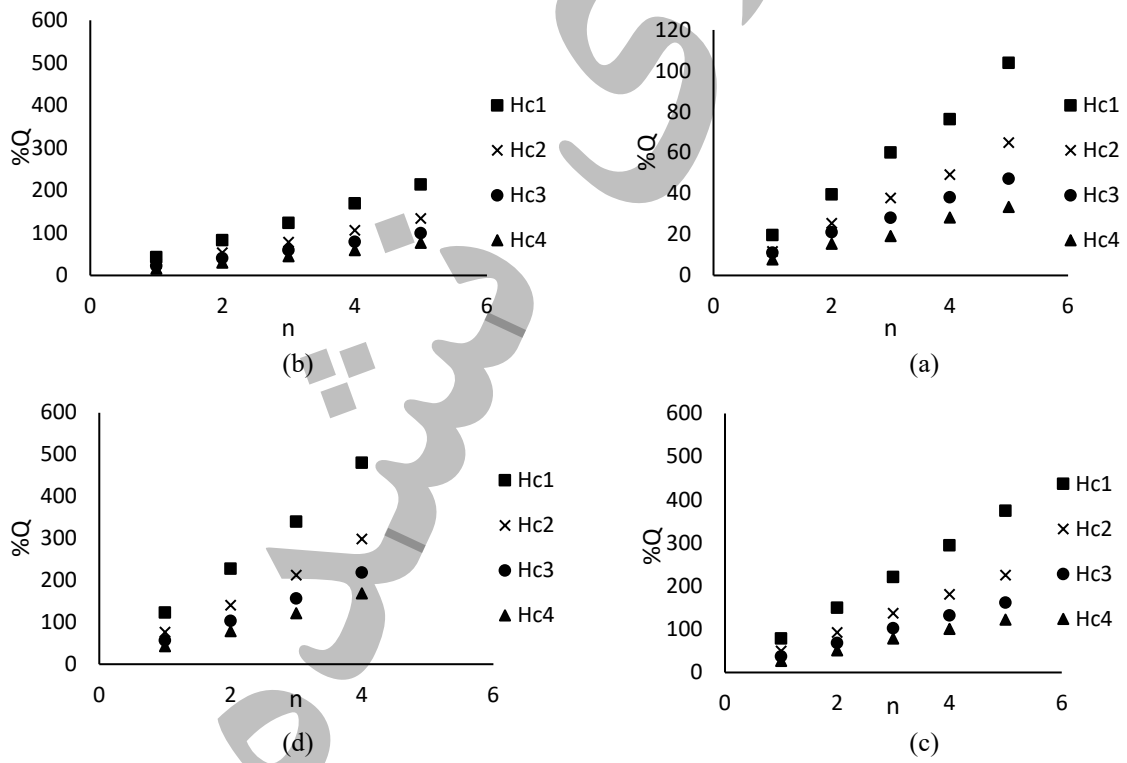

Fig. 6 The process of change of flow percentage with increasing number of openings and with side length of (a) two centimeters and (b) three centimeters and (c) four centimeters and (d) five centimeters

شکل۶ روند تغییر درصد دبی با افزایش تعداد روزنه و با طول ضلع (a) دو سانتی‌متر (b) سه سانتی‌متر (c) چهار سانتی‌متر (d) پنج سانتی‌متر

مشاهده شد که با افزایش تعداد 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 جریان رفته رفته کاهش یافته است لذا مشاهده می‌شود در ترازهای بالاتر میزان درصد مازاد دبی عبوری کاهش می‌یابد و این روند برای تمامی آزمایشات و تمامی ابعاد روزنه(از دو تا پنج سانتی‌متر) بطور جداگانه در هرکدام از گراف‌های شکل ۶ 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) متوسط‌گیری انجام گردید. سپس در تمام آزمایش 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 بطور کلی با افزودن هر یک روزنه‌ای که در انتهای سرریز ایجاد می‌گردد، به طورمتوسط به میزان

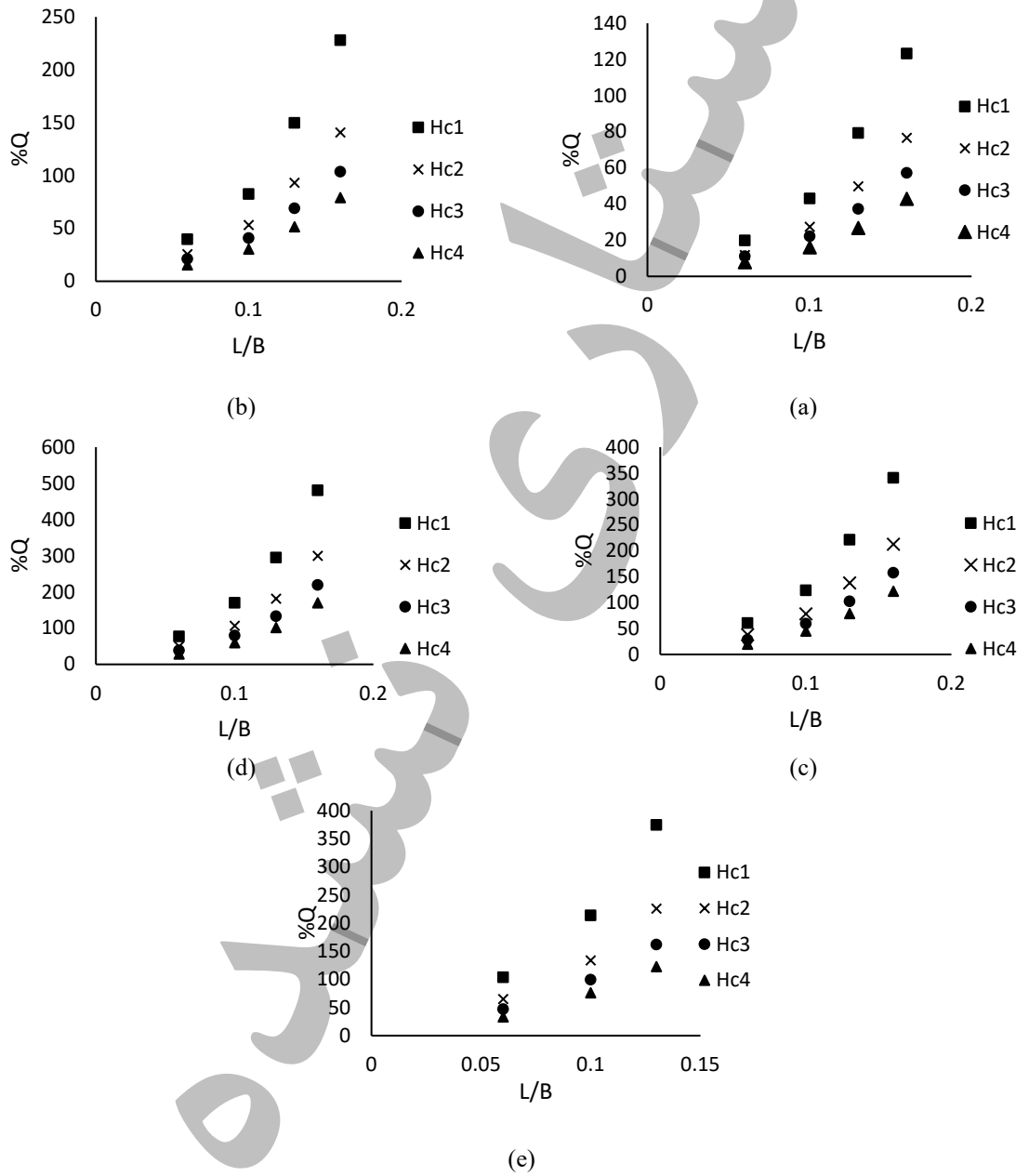

Fig. 7 The trend of changes in the percentage of flow rate with the increase of apertures and with the number of apertures (a) one (b) two (c) three (d) four (e) five

شکل ۷ روند تغییرات درصد دبی عبوری با افزایش ابعاد روزنه و با تعداد روزنه (a) یک (b) دو (c) سه (d) چهار (e) پنج

۳۸/۱۵ درصد دبی را در یک تراز ثابت افزایش داده است.

۳-۷- روند تغییرات درصد دبی جریان($Q\%$) با افزایش ابعاد روزنه

جهت بررسی اثر 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 گردید. لذا در تحقیق حاضر اثر تغییر ابعاد نسبی روزنه بر درصد مازاد دبی جریان عبوری در تعداد مختلف روزنه و همچنین در دبی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بخش در ادامه مشاهده می‌شود.

در نمودارهای شکل۷ روند تغییرات درصد دبی جریان مازاد عبوری ناشی از قرار دادن روزنه و همچنین تغییر در ابعاد روزنه در یک اشل ثابت مربوط به آزمایش شاهد مطابق جدول ۱ و در ابعاد مختلف در نمودارهایی جداگانه مشاهده می‌شود. درصد دبی‌های مربوط به محور عمودی از رابطه ۳ برآورد گردیده است. محور افقی طول نسبی روزنه و محور عمودی درصد مازاد دبی عبوری جریان می باشد. در تحقیق حاضر جهت برآورد میزان درصد افزایش دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه نسبت به آزمایش سرریز بدون روزنه(آزمایش شاهد)، همانگونه که در نمودارهای شکل۷ مشاهده می‌شود، بررسی‌های لازم انجام گردید. سپس محاسبات نشان داد که با افزایش طول نسبی روزنه (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 تمامی آزمایشات و تمامی ابعاد روزنه(از دو تا پنج سانتی‌متر) بطور جداگانه در هرکدام از گراف‌های شکل ۷ مشاهده می‌شود.

جهت بررسی و مقایسه کمی میزان درصد افزایش دبی عبوری جریان در آزمایش سرریز-روزنه در ابعاد مختلف نسبت به آزمایش سرریز بدون روزنه (آزمایش شاهد)، ابتدا متوسط‌گیری انجام گردید سپس در تمام آزمایشات و دبی‌ها مشاهده گردید که میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان در سرریزی با ابعاد دو به سه سانتی‌متر به میزان ۴۱ درصد و از سه به چهار روزنه به میزان ۵۷ درصد افزایش یافته است. بطور متوسط با افزایش ابعاد روزنه به میزان یک سانتی‌متر در محدوده این تحقیق، در هر مرحله به میزان ۴۹ درصد دبی را افزایش داده است.

۳-۸- روند تغییرات درصد دبی جریان($Q\%$) با افزایش دبی عبوری

در نمودارهای شکل ۸ روند تغییرات درصد مازاد دبی عبوری جریان ناشی از نصب روزنه با افزایش دبی عبوری جریان در آزمایش شاهد(سرریز بدون روزنه) مشاهده می‌شود. پارامتر (Q_C) در محور افقی دبی جریان عبوری از سرریز بدون روزنه(آزمایش شاهد) و پارامتر($Q\%$) در محور عمودی درصد مازاد دبی عبوری جریان ناشی از ایجاد روزنه می‌شود.

در نمودارهای شکل ۸ محور افقی دبی جریان در آزمایش شاهد و محور عمودی تغییرات 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 گردیده است. در بررسی میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان، همانگونه که در نمودارهای شکل ۸ مشاهده می‌شود با افزایش دبی جریان عبوری، میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان کاهش می یابد و به عبارتی دیگر در دبی‌های بالاتر در یک تراز شاهد ثابت، وقتی روزنه‌ای ایجاد می‌گردد میزان درصد دبی عبوری افزایشی در مقایسه با زمانی که دبی کمتری عبور داده می‌شود، کمتر می‌باشد. همچنین با افزایش دبی رفته رفته اثر روزنه بر درصد دبی عبوری کمرنگ‌تر گردیده است.

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر به بررسی و مقایسه جامع آزمایشگاهی تاثیر تعداد و ابعاد روزنه‌ی مربعی شکل در سازه ترکیبی سرریز-روزنه بر روند تغییرات دبی آبگذری (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات 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 تغییر دبی آبگذری پرداخته گردید که جهت بررسی میزان دبی عبوری نتایج در دو قالب تفاضل دبی و درصد تفاضل دبی پرداخته شده است. به شکل اختصاصی نوآوری این مقاله آن بوده است که به بررسی تعداد و ابعاد روزنه پرداخته و با

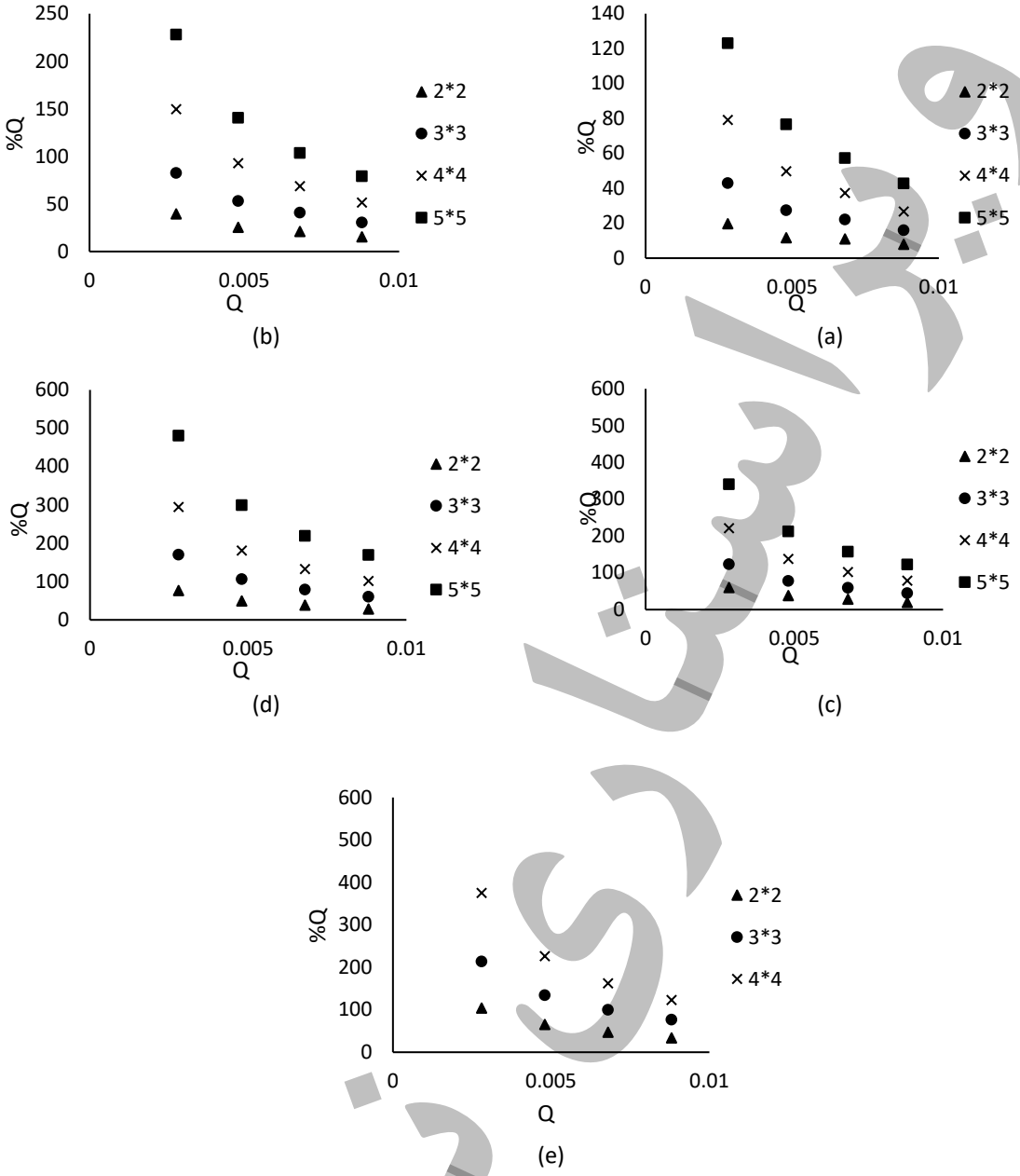

Fig. 8 The trend of changes in the percentage of flow rate with increasing flow rate and with the number of holes (a) one (b) two (c) three (d) four (e) five

شکل ۸ روند تغییرات درصد دبی عبوری با افزایش دبی عبوری و با تعداد روزنه (a) یک (b) دو (c) سه (d) چهار (e) پنج

تاکید بر این دو پارامتر بررسی و محاسبات لازم انجام گردیده است. نتایج این محاسبات نشان داد که با افزایش تعداد روزنه و ابعاد روزنه در هر تراز ثابت، مقادیر دبی آبگذری افزایش می‌یابد و بطور کلی به ازای افزایش هر یک روزنه به طور متوسط به میزان دو لیتربرثانیه و به ازای افزایش هر یک سانتی‌متر به ابعاد روزنه به طور متوسط به میزان ۲/۳ لیتربرثانیه به مقادیر دبی آبگذری اضافه می‌گردد. همچنین محاسبات حاصل از بررسی روند تغییرات دبی آبگذری (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات سرریز-روزنه و دبی شاهد) با افزایش تعداد روزنه در هر اشل ثابت نشان داد که با افزایش تعداد روزنه به ازای یک اشل ثابت، میزان تغییرات دبی آبگذری (تفاضل دبی در هرکدام از آزمایشات 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. نتایج نشان داد با

افزایش تعداد 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 همچنین افزایش هر یک سانتی‌متر به ابعاد روزنه، درصد دبی مازاد عبوری را به۴۹ درصد رسانیده است. لیکن با تغییر تراز شاهد به تراز شاهد بعدی، میزان درصد مازاد دبی عبوری جریان کاهش یافته است.

در ادامه‌ی محاسبات حاصل از بررسی تغییرات 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، اثر روزنه بر درصد مازاد دبی عبوری کمرنگ¬تر گردیده است.

۵- فهرست نشانه‌ها

دبی آزمایش شاهد	Q_c (l/s)
دبی سازه ترکیبی سرریز-روزنه	Q_E (l/s)
تغییرات دبی جریان	ΔQ (l/s)
عمق جریان برروی سرریز	Y (m)
طول ضلع روزنه	L (cm)
تعداد روزنه	n
درصد تغییرات دبی جریان عبوری	Q (%)
هد سرریز(اشل در آزمایش شاهد)	H_c (m)
کل تراز بالادست	H (m)

۶- منابع

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, December). 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 P-ISSN 1112-3680/E-ISSN 2521-9782(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 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. Advances in hydroscience and engineering, 2(Part A), 285-292.

Pesaraklo, M., and 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, 8p. (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(03), 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.

.

ویراستاری نشده