

Research Paper

Investigation of the Effect of Semicircular Corrugated Side Weir Height on Discharge Coefficient and Water Surface Profile in the Main Channel

Fateme Safiloo^{1*}, Davod Farsadizade², Hadi Arvanaghi³

1. Former M.Sc. Student of Water Engineering, College of Agricultural, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

2. Professor of Water Engineering, College of Agricultural, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

3. Associate Prof. of Water Engineering, College of Agricultural, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received: 2019/10/21

Revised: 2020/08/16

Accepted: 2020/12/19

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2021.23066.2202

Keywords:

Discharge coefficient, FLUENT software, Semi-Circular labyrinth side weir, under subcritical flow, Water surface profile.

Abstract

Introduction: Side weirs are important and practical hydraulic structures in water conveyance systems that are installed on the side wall of the channel to divert excess water from main channels. In this research, the effect of the height of two-side semicircular labyrinth side weir on the discharge coefficient and water surface profile in 3D by using the FLUENT software.

Methods: In this research, side weirs were used in three, four and five cycles with a height of 10,15 and 20 cm and an opening length of 40 cm. The discharge coefficient and water surface profile obtained from this simulation were compared with experimental results for validation.

Findings: The results showed the computed values have a good agreement with the experimental data and the error percentage for the discharge coefficient is between zero and 7% and the relative error was decreased by decreasing of Froude number. Based on the results, as the height of the side weir increases, the rate of water surface fluctuations in the main channel and along the side weir decreases. On average, with every 5 cm reduction in the height of the side weir, the rate of water surface decreases by 3%. Also, the discharge coefficient of the side weir decreases with decreasing congress radius and with increasing the side weir height and upstream Froude number. Therefore, the semicircular labyrinth side weir of three-cycle with height $P = 10\text{cm}$ has a higher discharge coefficient than the other side weirs under study

Conclusion: Investigation of the effect of semicircular corrugated side weir height on discharge coefficient and water surface profile, made it possible to investigate discharge coefficient and water surface profile in different models by changing the side weir height, radius and number of labyrinth cycles, with the shortest time and without the cost of overflow construction.

Citation: Safiloo F, Farsadizade D, Arvanaghi H. Investigation of the effect of semicircular corrugated side weir height on discharge coefficient and water surface profile in the main channel Water Resources Engineering Journal. 2021; 14(50): 46-62.

*Corresponding author: : Fateme Safiloo

Address: : Dept. of Water Engineering, College of Agricultural, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Tell: +989102418718

Email: f-safiloo94@ms.tabrizu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Water management and conveyance is one of the most important issues during the development of human civilization. Responsive to the needs, various hydraulic structures have been designed and built. One of the common structures in many dams and water conveyance channels are overflows that are used to drain, measure and control the water level. One of the functional types of overflows is side weir. The flow in the vicinity of the side weir is of the type of spatially variable flow with decreasing discharge. Side weir, like simple overflows, can be sharp, wide, or corrugated. Side weirs in the plan are fractured and do not have a smooth, straight edge. As a result, they have a longer effective length and discharge coefficient than simple overflows. The flow in the main channel can be subcritical or supercritical. In the case side weir applications, the flow is generally sub-critical. In this research, sub-critical flow conditions have been investigated. One of the effective ways to increase the flow overflow length in a certain width is to use overflows with non-linear planes such as triangular, trapezoidal, circular and parabolic. As a result of the construction of this type of overflow, the volume of flow passing through them will increase and less free height will be required upstream than linear overflows. In this study, the effect of semicircular corrugated side weir height on discharge coefficient and water surface profile in subcritical flow conditions has been investigated in three dimensions using Fluent software.

Materials and Methods

In this research, in order to prepare the flow field geometry and its networking, Gambit preprocessor software has been used. In this research, the simultaneous solution of velocity and pressure (PISO algorithm) and the implicit method for solving equations have been used. The models of this research include three side weir models of two side semicircular labyrinth side weir including three, four and five cycles with three heights and three discharges. Numerical models were analyzed by changing the height of the

overflow, the number of cycles and radius of the side weir labyrinth and the effect of each of these parameters on the water surface profile and side weir discharge coefficient was analyzed considering that the parameters affecting the discharge coefficient of side weirs are high. Independent dimensionless parameters have been obtained using dimensional analysis. To investigate changes in water surface profiles during side weir, longitudinal profiles were taken in the channel axis and at a distance of one centimeter from the side weir. In these models, flow discharge, upstream hydraulic head of the overflow, upstream Froude number, height of the side weir, radius and number of cycles of congresses are considered as hydraulic and geometric variables of the side weirs and a total of 48 models are simulated in three dimensions. Laboratory results of Esmailpour (1393) have been used to validate the simulated model. These experiments were performed in one of the glass rectangular metal channels of the hydraulic laboratory of Tabriz University. After the implementation of the models, the results of numerical flow simulation were extracted and after extracting the numerical results, side weir of the semicircular congresses of the results was compared with the results of the physical model.

Findings

The results showed the computed values have a good agreement with the experimental data and the error percentage for the discharge coefficient is between zero and 7% and the relative error was decreased by decreasing of Froude number. Based on the results, as the height of the side weir increases, the rate of water surface fluctuations in the main channel and along the side weir decreases. On average, with every 5 cm reduction in the height of the side weir, the rate of water surface decreases by 3%. Also, the discharge coefficient of the side weir decreases with decreasing congress radius and with increasing the side weir height and upstream Froude number. Therefore, the semicircular labyrinth side weir of three-cycle with height P equal to 10cm has a higher discharge coefficient than the other side weirs under study.

Discussion

In the present study, the effect of semicircular corrugated side weir height on discharge coefficient and water surface profile in the main channel was investigated. Numerical analysis of this overflow made it possible to investigate the discharge coefficient in different models by changing the side weir height, radius and number of cycles in the shortest time and without the cost of constructing the overflow. Comparison of the results of the physical model and the numerical model showed a good agreement. Therefore, the numerical model can be substituted for the numerical model due to its lower cost and optimal time. Numerical for real open channels and natural rivers with much larger dimensions used the laboratory model. Due to the fact that the water flow in the channels is in the turbulent range and the flow in the side weirs is turbulent and the flow parameters are not affected by viscosity and the slight change in viscosity and even the friction factor in the Wiesbach Darcy relation in the water flow in the channels is independent of Reynolds and a function of relative roughness are obtained. Therefore, the Reynolds number can only be considered. On the other hand, because the water flow in the channels has a free surface, it is very sensitive to the force of gravity and with a change in the force of gravity, the state of the flow changes rapidly. Therefore, Froude number plays an important role in studies and equations obtained in water flow in canals. In physical models of free-surface flows, the dynamic similarity between the model and the prototype is based on the flow Froude number. And this means the importance of gravity in flow behavior in open channels.

Conclusion

Investigation of the effect of semicircular corrugated side weir height on discharge coefficient and water surface profile, made it possible to discharge coefficient and water surface profile in different models should be investigated by changing the side weir height, radius and number of congress cycles, the shortest time and without the cost of overflow construction.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Fateme Safiloo, Davod Farsadizae, Hadi Arvanaghi. Methodology and data analysis: Fateme Safiloo, Davod Farsadizae. Supervision and final writing: Fateme Safiloo.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی تاثیر ارتفاع سرریز جانبی کنگره‌ای نیم دایره‌ای بر روی ضریب دبی و پروفیل سطح آب در کانال اصلی

فاطمه صفی‌لو^{۱*}، داود فرسادی‌زاده^۲، هادی ارونقی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۲. استاد مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

۳. دانشیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

چکیده

مقدمه: سرریزهای جانبی سازه‌های هیدرولیکی مهم و کاربردی در سیستم‌های انتقال آب هستند که با قرارگیری در دیواره کانال، جریان مازاد عبوری در کانال را تخلیه می‌کنند. در این تحقیق، تأثیر ارتفاع سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دوطرفه بر ضریب دبی و پروفیل سطح آب در شرایط جریان زیر بحرانی به صورت سه‌بعدی و با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت مورد بررسی قرار گرفته است.

روش: در این تحقیق سرریزهای جانبی در حالت سه، چهار و پنج سیکل با ارتفاع ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر و طول باز شدگی ۴۰ سانتی‌متر مورد استفاده قرار گرفتند. ضریب دبی و پروفیل سطح آب به دست آمده از این شبیه‌سازی جهت اعتبار سنجی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند.

یافته‌ها: یافته‌های پژوهش نشان داد مقادیر محاسبه شده با داده‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی داشته و درصد خطا برای ضریب دبی بین صفر تا ۷ درصد می‌باشد و میزان خطا با کاهش عدد فرود کم‌تر می‌شود. طبق نتایج به دست آمده، با افزایش ارتفاع سرریز جانبی میزان نوسانات سطح آب در کانال اصلی و در امتداد سرریز جانبی کاهش می‌یابد. به طور متوسط با هر ۵ سانتی‌متر کاهش ارتفاع سرریز جانبی، میزان پایین‌افتادگی سطح آب ۳ درصد کاهش می‌یابد همچنین ضریب دبی سرریز جانبی با افزایش تعداد سیکل کنگره‌ها و با افزایش ارتفاع سرریز و عدد فرود بالادست کاهش می‌یابد. بنابراین سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای سه سیکل با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر دارای ضریب دبی بیش‌تری نسبت به سایر سرریزهای مورد بررسی می‌باشد.

نتیجه‌گیری: بررسی عددی تأثیر ارتفاع سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای بر روی ضریب دبی و پروفیل سطح آب، این امکان را فراهم کرد تا در کم‌ترین زمان و بدون هزینه ساخت سرریز، ضریب دبی و پروفیل سطح آب در مدل‌های مختلف با تغییر دادن ارتفاع سرریز، شعاع و تعداد سیکل کنگره‌ها بررسی شود.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۸

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۰۵/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2021.23066.2202

واژه‌های کلیدی:

پروفیل سطح آب، جریان زیر بحرانی، سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای، ضریب دبی، نرم‌افزار فلوئنت.

* نویسنده مسئول: فاطمه صفی‌لو

نشانی: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تلفن: ۰۹۱۰۲۴۱۸۷۱۸

پست الکترونیکی: f-safiloo94@ms.tabrizu.ac.ir

مقدمه

مدیریت و انتقال آب یکی از مباحث مهم در طول توسعه تمدن بشر می‌باشد. برای پاسخ‌گویی به نیازها، سازه‌های هیدرولیکی متنوعی طراحی و ساخته شده است. یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند که به منظور تخلیه، اندازه‌گیری و کنترل سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از انواع کاربردی سرریزها، سرریز جانبی است. جریان در مجاورت سرریز جانبی از نوع جریان متغیر مکانی با کاهش دبی می‌باشد. سرریز جانبی نیز مانند سرریز معمولی می‌تواند لبه‌تیز، لبه‌پهن و یا کنگره‌ای باشد. سرریزهای جانبی کنگره‌ای در پلان دارای شکستگی بوده و از لبه صاف و مستقیم برخوردار نمی‌باشند در نتیجه طول مؤثر و ضریب دبی بیش‌تری نسبت به سرریزهای ساده دارند. جریان در کانال اصلی می‌تواند زیر بحرانی یا فوق بحرانی باشد. در موارد کاربرد سرریز جانبی جریان عموماً زیر بحرانی است. در این تحقیق شرایط جریان زیر بحرانی بررسی شده است. یکی از راه‌کارهای مؤثر بر افزایش طول سرریزی جریان در یک عرض معین، استفاده از سرریزهای با پلان غیر خطی نظیر مثلثی، دوزنقه‌ای، دایره‌ای و سهموی می‌باشد در نتیجه احداث این نوع از سرریزها، حجم جریان عبوری از آن‌ها افزایش یافته و ارتفاع آزاد کم‌تری در بالادست نسبت به سرریزهای خطی نیاز خواهد بود. این موضوع در مواقعی که سرریز به عنوان سازه تخلیه سیلاب عمل می‌نماید، بسیار حائز اهمیت بوده و منجر به تسهیل عبور سیلاب از سرریز می‌گردد (۱).

لاکس با انجام آزمایش‌هایی بر روی مدل فیزیکی سرریز کنگره‌ای، ضریب دبی عبوری از این سرریزها را به صورت تابعی از هد کل بالادست معرفی نمود (۲).

برقی و همکاران با انجام بیش از ۲۵۰ آزمایش، اثر هیدرولیک جریان، هندسه کانال و شکل سرریز روی ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز را در شرایط جریان زیر بحرانی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در جریان زیر بحرانی فرض دی مارچی در مورد ثابت بودن انرژی در طول سرریز قابل قبول بوده و ضریب دی مارچی تابعی از عدد فرود بالادست، نسبت ارتفاع سرریز به عمق جریان بالادست و طول سرریز به عرض کانال می‌باشد. همچنین شیب کف کانال در جریان زیر بحرانی را می‌توان نادیده گرفت (۳).

با توسعه اطلاعات تجربی، نتایج ارزیابی ظرفیت جریان عبوری روی سرریزهای با پلان مثلثی و دوزنقه‌ای را اصلاح نمودند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد که میزان واقعی جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای حدود ۲۵ درصد کم‌تر از مقدار برآورد شده نظیر آن از روش هی و تیلور است. علت اصلی تفاوت، احتساب ارتفاع آب بالادست به جای انرژی بالادست سرریز با تاثیر بار سرعت بالادست سرریز بوده است (۴)، (۵).

الگوی جریان در سرریز لبه تیز مستطیلی ساده را با استفاده از نرم‌افزار Flow ۳D و به صورت سه‌بعدی مدل کردند. آن‌ها برای شبیه‌سازی جریان چند فاز از روش حجم سیال و مدل آشفتگی k-E استفاده کردند. نتایج پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که مقادیر به دست آمده از

نرم‌افزار Flow ۳D از دقت بالایی برخوردار است. زیرا داده‌های عددی و آزمایشگاهی همخوانی خوبی با هم داشتند (۶)

رابطه دبی-اشل سرریزهای لبه تیز دایره‌ای را بررسی کردند. برای مطالعه دقت رابطه دبی-اشل ۵۸ آزمایش بروی ۶ نمونه از سرریزهای دایره‌ای شکل با قطرهای و ارتفاع‌های مختلف در یک فلوم به عرض ۳۰ سانتی‌متر انجام دادند. با حل دو معادله غیر خطی استخراج شده در این مطالعه، یک رابطه دبی اشل نظری به دست آمد. نتایج نشان داد که برای هر اشل بالای سرریز، دبی محاسبه شده نظری کم‌تر از دبی اندازه‌گیری شده است. رابطه دبی اشل اصلاح شده با اعمال ضریب تصحیح به دست آمد که تابعی از نسبت عمق جریان بالادست به ارتفاع تاج سرریز می‌باشد (۷).

خصوصیات هیدرولیکی سرریز جانبی کنگره‌ای با پلان دوزنقه‌ای را در وضعیت دو سیکل در جریان زیر بحرانی و ضریب دبی سرریز کنگره‌ای در شرایط یک و چند سیکل با طول بازشدگی ثابت را بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که معادله به دست آمده برای حالت چند سیکل نا معتبر است (۸)

همچنین آن‌ها با استفاده از رابطه دی مارچی، ضریب دبی را محاسبه و معادله‌ای برای محاسبه ضریب دبی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای ارائه دادند (۹).

تأثیر افزایش طول مؤثر بر مشخصات هیدرولیکی و ضریب تخلیه سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای را بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که سرریزهای نیم‌دایره‌ای با افزایش $1/57$ سانتی‌متر طول سرریز جانبی، ضریب دبی را $1/5$ تا 2 برابر نسبت به سرریزهای مستطیلی ساده افزایش می‌دهد (۱۰).

تأثیر استفاده از شمع‌ها با آرایش‌های مختلف، بر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای تک سیکل را بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای در حالتی که شمع وجود دارد بیش‌تر از حالت بدون شمع است. بیش‌ترین افزایش در ضریب دبی و بیش‌ترین کاهش در تغییرات انرژی مخصوص مربوط به آرایشی است که سه شمع در لبه پایین دست سرریز قرار گیرند (۱۱).

ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای را در شرایط جریان زیر بحرانی به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. و مدل فیزیکی سرریز جانبی برای سه شعاع و سه ارتفاع مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دارای ضریب دبی بالایی نسبت به انواع دیگر سرریزهای جانبی کلاسیک که بر روی یک کانال مستقیم قرار گرفته‌اند می‌باشد (۱۲).

کاربرد روش ترکیبی جدید در توسعه مدل جدید دبی سرریز نیم‌دایره‌ای را بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد تنها فقط روش ترکیبی

جریان با استفاده از طرح VOF مدل سازی شده است. در طرح VOF برای محاسبه جزء حجمی، معادله پوستگی رابطه ۳ حل می شود:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(\frac{\partial}{\partial x} (FuA_x) + \frac{\partial}{\partial y} (FvA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (FwA_z) \right) = 0 \quad (3)$$

در رابطه ۳، F جزء حجمی سیال در یک سلول محاسباتی مشخص است. اگر F=0 باشد سلول مذکور خالی است. و اگر F=1 باشد سلول محاسباتی پر از سیال است. برای حل معادلات حاکم بر میدان جریان، از مقدار دبی و عمق جریان مشخص در مقطع ورودی کانال اصلی استفاده شده است. در مرز ورودی کانال اصلی پارامترهای آشفتگی (ε_t) توسط رابطه های ۴ و ۵ محاسبه می گردد:

$$K_t = \frac{3}{2} (v_t \cdot TLEN)^2 \quad (4)$$

$$\varepsilon_t = CNU \sqrt{\frac{3}{2} \frac{K_t^3}{TLEN}} \quad (5)$$

در رابطه های فوق، v_t ویسکوزیته سینماتیکی آشفتگی و TLEN مقیاس طول آشفتگی است که در کانال های باز برابر ۷٪ قطر هیدرولیکی و CNU یک مقدار ثابت است که در مدل آشفتگی RNG برابر ۰/۰۸۵ می باشد که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته اند.

شرح مدل های عددی

به منظور تهیه هندسه میدان جریان و شبکه بندی آن از نرم افزار پیش پردازنده گمبیت استفاده شده است. در این تحقیق از روش حل هم زمان سرعت و فشار (الگوریتم PISO) و روش ضمنی جهت حل معادلات استفاده شده است. مدل های این تحقیق شامل سه مدل سرریز جانبی کنگره ای نیم دایره ای دو طفه اعم از سه، چهار و پنج سیکل با سه ارتفاع و سه دبی جریان می باشد. مدل های عددی با تغییر دادن ارتفاع سرریز، تعداد سیکل و شعاع کنگره های سرریز جانبی و تاثیر هریک از این پارامترها بر روی پروفیل سطح آب و ضریب دبی سرریز جانبی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت با توجه به اینکه پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای جانبی مورد مطالعه زیاد می باشد. با استفاده از تحلیل ابعادی پارامترهای بی بعد مستقل، به دست آمده است. جهت بررسی تغییرات پروفیل سطح آب در طول سرریز جانبی، پروفیل طولی در محور کانال و در فاصله یک سانتی متری سرریز جانبی برداشت شد. در این مدل ها دبی جریان، بار هیدرولیکی در بالادست سرریز، عدد فرود بالادست، ارتفاع سرریز، شعاع و تعداد سیکل کنگره ها به عنوان متغیرهای هیدرولیکی و هندسی سرریزها در نظر گرفته شده و در مجموع ۴۸ مدل به صورت سه بعدی شبیه سازی شده است مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریزهای جانبی کنگره ای نیم دایره ای که به صورت عددی بررسی شده در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین در جدول ۲ تعداد داده های

جدید قادر به فرآیند دقیق کالیبراسیون نیست بلکه مدل پیشنهادی نیز می تواند محاسبات مقادیر دبی را با دقت بیش تری تسهیل کند (۱۳). ضریب دبی سرریز جانبی کنگره ای نیم دایره ای یک طرفه را تحت شرایط جریان زیر بحرانی به صورت آزمایشگاهی بررسی کرد. نتایج نشان داد که ضریب دبی سرریز جانبی کنگره ای نیم دایره ای نسبت به ضریب دبی سرریز جانبی مستطیلی ۲۱ درصد افزایش می یابد (۸).

در زمینه سرریزهای جانبی، مطالعات آزمایشگاهی، تحلیلی و عددی متعددی انجام شده است. با استفاده از تحلیل ابعادی در حالت کلی می توان نشان داد که تعداد پارامترهای موجود در معادله حاکم زیاد است. بنابراین ارائه دقیق معادلات مربوطه، ساده نیست. به این ترتیب برای شناخت بهتر مکانیسم رفتاری سرریزهای جانبی با فرم های هندسی مختلف و افزایش راندمان هیدرولیکی این سرریزها، لازم است مطالعات بیشتری صورت گیرد. امروزه با پیشرفت های سریع در مدل های عددی، از دینامیک سیالات محاسباتی یا CFD، جهت حل معادلات حاکم بر جریان سیال استفاده می شود. بررسی های آزمایشگاهی علاوه بر هزینه زیاد، از لحاظ تعمیم نتایج به شرایط واقعی و همچنین تغییر پارامترهای مؤثر، دارای محدودیت هایی می باشند. بر این اساس هدف از این مقاله بررسی عددی تاثیر ارتفاع سرریز جانبی کنگره ای نیم دایره ای دو طرفه بر روی ضریب دبی و پروفیل سطح آب در کانال اصلی با مشخصات هیدرولیکی مختلف، و با استفاده از مدل سازی عددی با نرم افزار Fluent و مدل آشفتگی k-ε روش RNG به صورت سه بعدی می باشد که طبق منابع موجود تاکنون به صورت عددی شبیه سازی نشده است.

مواد و روش ها

معادلات حاکم بر جریان

قوانین حاکم بر جریان عبارتند از قانون بقای جرم و اندازه حرکت که در حالت جریان آشفته و به صورت متوسط گیری شده در زمان، معادله پیوستگی رابطه ۱ و مومنوم رابطه ۲ از آن ها استخراج می شود (۱۴):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (\rho u_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial (\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \left[\frac{\partial p}{\partial x_i} \frac{\partial}{\partial x_j} \right] \mu \left[\frac{\partial x_i}{\partial x_j} + \frac{\partial (u_j)}{\partial x_i} \right] + \frac{\partial (-\rho \overline{u_i' u_j'})}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

در معادلات فوق، u_i (i=1,2,3) به عنوان مؤلفه های متوسط سرعت، به ترتیب در سه جهت x, y, z، فشار، P، چگالی، μ ویسکوزیته دینامیکی و جمله $-\rho \overline{u_i u_j}$ به عنوان تنش های رینولدز شناخته می شوند. این معادلات دارای سه مجهول شامل مؤلفه های سرعت در سه جهت (u, v, w) و فشار می باشند. در این تحقیق برای شبیه سازی آشفتگی جریان از مدل آشفتگی K-ε RNG استفاده شده است. این مدل آشفتگی نواحی با برش بالا و جریان های آشفته با شدت کم را با دقت بالایی شبیه سازی می کند. تغییرات سطح آزاد

تعداد سیکل کنگرها را بررسی می‌کند. در حالی که در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر تغییر ارتفاع سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دوطرفه با ارتفاع‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر با طول بازشدگی ثابت ۴۰ سانتی متر و با شعاع‌های ۶/۶۷، ۵ و ۴ سانتی متر و تعداد سیکل-های ۳، ۴ و ۵ سانتی متر پرداخته شده است و هدف اصلی از انجام این پژوهش، بررسی تاثیر عوامل مختلف نظیر تغییر ارتفاع سرریز جانبی، تغییر شعاع، تعداد سیکل سرریز و تغییر عدد فرود بالادست بر روی مشخصه‌های جریان در مجاورت سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای با طول بازشدگی ثابت و ارتفاع‌های مختلف می‌باشد ولی در آزمایش-های اسماعیل پور ارتفاع سرریز جانبی ثابت بوده و دارای طول‌های بازشدگی متفاوت است

مورد استفاده در هر آزمایش ارائه شده است. جهت اعتبار سنجی مدل شبیه‌سازی شده از نتایج آزمایشگاهی اسماعیل پور استفاده شده است. این آزمایشات در یکی از کانال‌های مستطیلی فلزی شیشه‌ای آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز انجام شده‌اند. پس از اتمام اجرای مدل‌ها، نتایج شبیه‌سازی عددی جریان استخراج شد و پس از استخراج نتایج عددی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای نتایج حاصل با نتایج مدل فیزیکی مقایسه شد (۸).

تحقیقات اسماعیل پور در رابطه با بررسی ضریب دبی جریان و پروفیل سطح آب در سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای می‌باشد و تاثیر پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی مختلف شامل طول بازشدگی سرریز، شعاع و

جدول ۱- مشخصات کلی هندسی و هیدرولیکی سرریزهای جانبی تحقیق حاضر

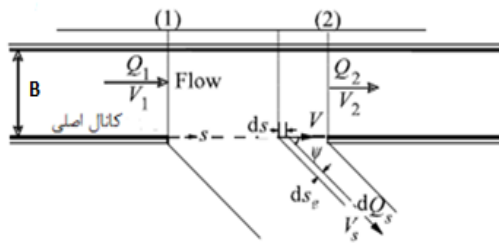
نوع سرریز جانبی	کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دوطرفه	کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دوطرفه	کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای دوطرفه
طول بازشدگی (cm)	۴۰	۴۰	۴۰
تعداد سیکل	۵	۴	۳
شعاع کنگره‌ها (cm)	۴	۵	۶/۶۷
عدد فرود بالادست	۰/۱۱۷۶	۰/۱۱۷۶	۰/۱۱۷۶
	۰/۲۷۵	۰/۲۷۵	۰/۲۷۵
	۰/۳۳۸	۰/۳۳۸	۰/۳۳۸
دبی بالادست (lit/s)	۱۹/۳۹	۱۹/۳۹	۱۹/۳۹
	۳۷/۲۸	۳۷/۲۸	۳۷/۲۸
	۵۲/۴۹	۵۲/۴۹	۵۲/۴۹
ارتفاع سرریز (cm)	۱۰	۱۰	۱۰
	۱۵	۱۵	۱۵
	۲۰	۲۰	۲۰

جدول ۲- تعداد داده‌های مورد استفاده در هر آزمایش

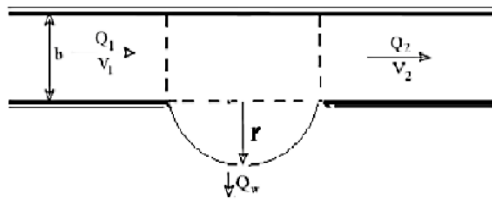
تعداد داده	نوع آزمایش
۱۰	تغییرات ضریب دبی شبیه‌سازی شده به ازای داده‌های آزمایشگاهی در مدل‌های مختلف
۳۰	مقایسه تغییرات ضریب دبی به دست آمده از شبیه‌سازی عددی با داده‌های آزمایشگاهی
۱۳۶	مقایسه تغییرات پروفیل طولی سطح آب در فاصله یک سانتی متری سرریز جانبی با داده‌های آزمایشگاهی
۱۳۶	مقایسه تغییرات پروفیل طولی سطح آب سرریز جانبی در محور مرکزی کانال اصلی با داده‌های آزمایشگاهی
۳۶	تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای به ازای اعداد فرود مختلف
۳۶	تأثیر شعاع کنگره‌ها بر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای
۳۶	تأثیر تعداد سیکل کنگره‌ها بر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای
۳۶	تغییرات ضریب دبی به ازای L'/L در ارتفاع‌های مختلف سرریز جانبی
۳۶	تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای به ازای $\frac{P}{h_1}$ مختلف
۳۶	تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای در سیکل‌های متفاوت نسبت به تغییر ارتفاع سرریز
۱۰۲	پروفیل‌های طولی سطح آب در سرریز جانبی کنگره‌ای چهار سیکل در فاصله یک سانتی متری سرریز جانبی
۱۰۲	پروفیل‌های طولی سطح آب در سرریز جانبی کنگره‌ای چهار سیکل در امتداد محور مرکزی کانال

پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای شامل ρ دانسیته، μ ویسکوزیته، σ کشش سطحی، g شتاب ثقل، h_1

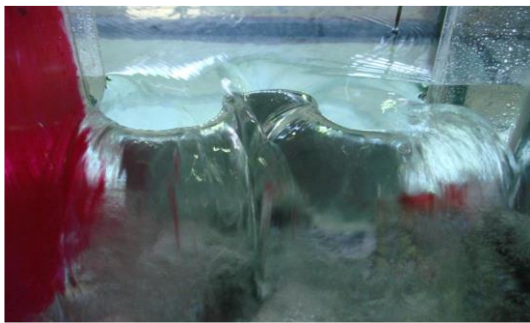
تحلیل ابعادی



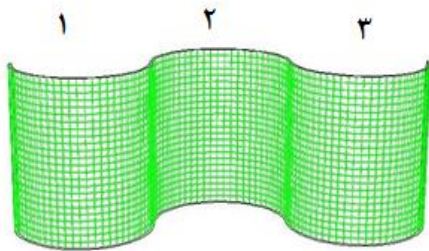
ب) پلان سرریز جانبی



ج) پلان سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای تک سیکل به شعاع r
شکل ۱- نمای کلی سرریز جانبی و پارامترهای مؤثر بر آن



الف) سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای در حال آزمایش



ب) سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای شبیه‌سازی شده
شکل ۲- نمای کناری سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای کنگره‌ای
سه سیکل دوطرفه با شعاع ۶.۶۷ سانتی‌متر

تعریف محدوده هندسی

در این تحقیق شرایط جریان آب در قسمتی از کانال اصلی به طول ۱/۶ متر در بالادست سرریز جانبی و ۲/۸ متر در پایین دست آن و یک کانال جانبی به طول تبدیل ۰/۳۵ متر و طول ۰/۶۵ متر و ارتفاع ۰/۵ متر به صورت عددی بررسی شده است. حداقل عمق آب روی سرریز ۲۰ میلی‌متر و ضخامت تاج سرریز ۲ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در شکل ۳ نمای کلی فلوام آزمایشگاهی و همچنین در شکل ۴ نمونه‌ای

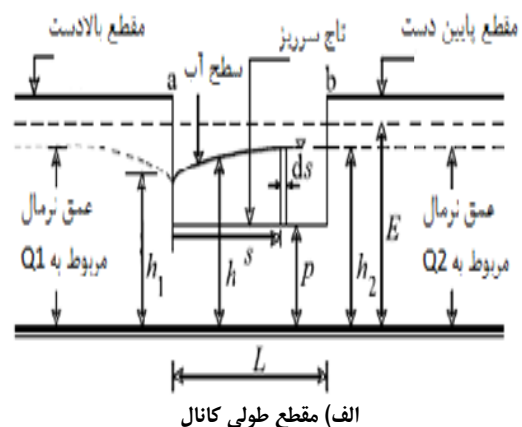
عمق آب ابتدای سرریز جانبی در محور کانال، V_1 سرعت جریان در بالادست کانال، L طول بازشدگی دهانه سرریز، L' طول مؤثر سرریز جانبی، B عرض کانال اصلی، P ارتفاع سرریز، S_0 شیب کانال، n تعداد سیکل و R شعاع کنگره‌ها می‌باشد. پس از انجام تحلیل ابعادی، ضریب دبی تابعی از پارامترهای بدون بعد به صورت رابطه ۶ به دست آمد (۱۵).

$$C_m = f\left(\frac{\mu}{\rho V_1 h_1}, \frac{h_1 g}{V_1^2}, \frac{\sigma}{\rho h_1 V_1^2}, Fr_1, \frac{P}{h_1}, \frac{L}{B}, \frac{L'}{L}, S_0, n, \frac{R}{B}\right) \quad (6)$$

در رابطه فوق Fr_1 : عدد فرود بالادست سرریز جانبی، $\frac{P}{h_1}$ نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب ابتدای سرریز در محور کانال، $\frac{L'}{B}$ نسبت طول مؤثر سرریز به عرض کانال اصلی، $\frac{L'}{L}$ نسبت طول مؤثر سرریز به طول سرریز، n تعداد سیکل سرریز، $\frac{R}{B}$ نسبت شعاع کنگره‌ها به عرض کانال اصلی می‌باشد. جریان در سرریزهای جانبی متلاطم بوده و پارامترهای جریان متأثر از لزجت نمی‌باشد و می‌توان از عدد رینولدز $(\frac{\mu}{\rho V_1 h_1})$ در تابع صرف نظر کرد. برای جلوگیری از تأثیر کشش سطحی، حداقل ارتفاع آب روی سرریز معادل ۲ سانتی‌متر پیشنهاد شده است (۱۶) بنابراین با توجه به این که حداقل ارتفاع آب روی سرریز معادل ۲ سانتی‌متر در این تحقیق منظور شده است، می‌توان از عدد ویر $(\frac{\sigma}{\rho h_1 V_1^2})$ صرف نظر نمود. همچنین شیب کف کانال در جریان زیر بحرانی تأثیر چندانی نداشته و در نتیجه S_0 از معادله حذف می‌گردد. با توجه به این که در این تحقیق عرض کانال و طول سرریز جانبی ثابت می‌باشد می‌توان از تأثیر پارامتری بعد $\frac{L}{B}$ بر ضریب دبی صرف نظر کرد. در نتیجه رابطه ۶ به صورت رابطه ۷ ساده می‌شود.

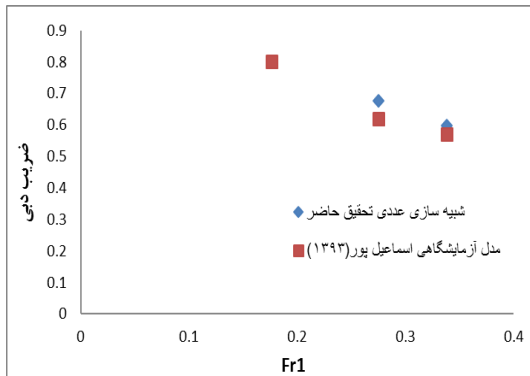
$$C_m = f\left(Fr_1, \frac{P}{h_1}, \frac{L'}{L}, n, \frac{R}{B}\right) \quad (7)$$

شکل ۱ نمای کلی سرریز جانبی و پارامترهای مؤثر بر آن را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۲ نمونه‌ای از سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای سه سیکل دوطرفه در حال آزمایش و نمونه‌ای از سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای شبیه‌سازی شده با نرم‌افزار گمبیت ارائه شده است.

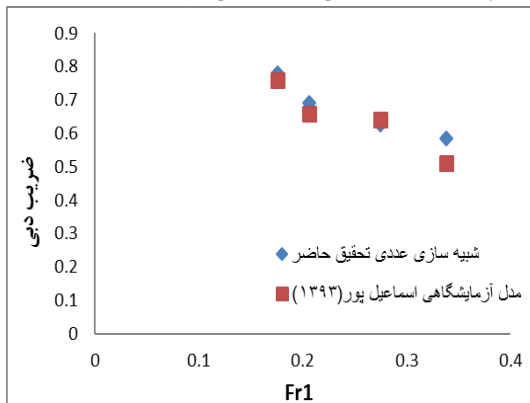


الف) مقطع طولی کانال

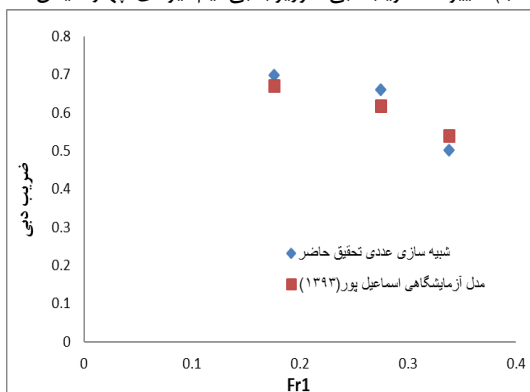
برای اعتبار سنجی و بررسی دقت نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت، مقادیر حاصل از شبیه‌سازی عددی با اعداد فرود 0.176 ، 0.275 و 0.338 برای سرریز جانبی کنگره‌های نیم‌دایره‌ای دوطرفه چهار سیکل با ارتفاع 15 سانتی‌متر محاسبه و با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شدند در شکل ۵ روند تغییرات ضریب دبی و در شکل‌های ۶ و ۷ روند تغییرات پروفیل‌های طولی سطح آب در فاصله یک سانتی متری سرریز جانبی و در محور مرکزی کانال اصلی ارائه شده است. با توجه به این شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که نرم‌افزار فلوئنت توانایی شبیه‌سازی سه‌بعدی سرریزهای جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای را با دقت مناسب دارد.



الف) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای سه سیکل

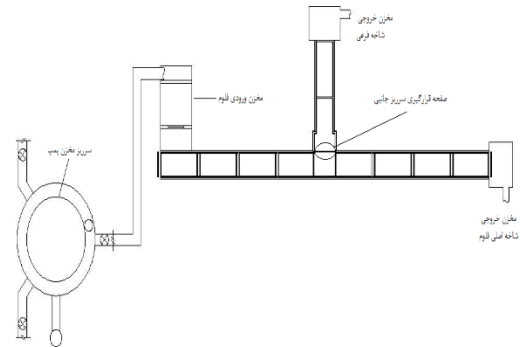


ب) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای چهار سیکل

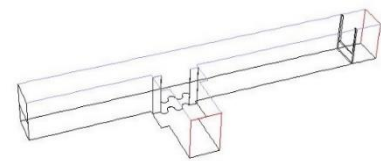


ج) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی نیم‌دایره‌ای پنج سیکل
 شکل ۵- مقایسه تغییرات ضریب دبی به دست آمده از شبیه‌سازی عددی با داده‌های آزمایشگاهی اسماعیل پور (۱۳۹۳) به ازای اعداد فرود مختلف و با ارتفاع سرریز 15 سانتی‌متر

از محدوده هندسی طرح مورد مطالعه نشان داده شده است. همچنین برای ثابت نگه داشتن سطح آب پایین دست، یک سرریز لبه پهن با فشردگی جانبی دو طرفه در انتهای فلوئم اصلی وجود دارد که جریان آب به صورت آزاد از روی آن عبور می‌کند. ارتفاع این سرریز 13 سانتی‌متر، طول سرریز $32/5$ سانتی‌متر و ضخامت آن $1/8$ سانتی‌متر است.



شکل ۳- نمای کلی فلوئم آزمایشگاهی



شکل ۴- نمونه‌ای از محدوده هندسی طرح مورد مطالعه

شبکه‌بندی مدل

جهت ایجاد شبکه قابل فراخوانی توسط نرم‌افزار فلوئنت، از نرم‌افزار گمبیت نسخه 2 4 6 استفاده شد. مدل در این نرم‌افزار ساخته شد و سپس مش مورد نیاز برای مدل تهیه گردید. برای شبکه بندی هندسه و حجم مدل المان‌های مختلفی در نرم‌افزار گمبیت وجود دارد که از آن جمله می‌توان به المان‌های Tri, Quad, Tri, Quad و Quad/Tri و برای شبکه بندی حجم‌ها به المان‌های Hex, Hex/wedge, Tet/Hybrid اشاره نمود. در این تحقیق از المان Quad نوع Map برای شبکه بندی هندسه و برای شبکه بندی تمامی حجم‌ها از المان Hex نوع Map استفاده شد.

شرایط مرزی

برای مقطع ورودی از شرط مرزی سرعت ورودی و برای مقطع‌های خروجی از فشار خروجی صفر استفاده شد. همچنین باتوجه به این که سرعت سیال در روی مرزهای جامد برابر صفر می‌باشد از شرط مرزی Wall برای دیواره‌ها و سرریز استفاده شد. شرط مرزی سطح آزاد فشار ورودی تعریف شد.

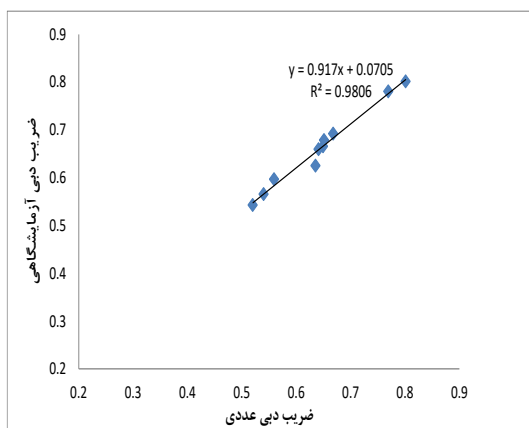
نتایج و بحث

شکل ۷- مقایسه تغییرات پروفیل طولی سطح آب سرریز جانبی چهار سیکل با ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر در محور مرکزی کانال اصلی، به دست آمده از شبیه‌سازی عددی با داده‌های آزمایشگاهی اسماعیل‌پور (۱۳۹۳) با خطای ۷٪ در جدول ۳ درصد خطای نسبی نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی مدل‌ها در مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی، نشان داده شده است. مقادیر خطای نسبی با توجه به رابطه ۸ تعیین گردید. با توجه به داده‌های جدول ۳ می‌توان نتیجه گرفت که درصد خطا برای ضریب دبی بین صفر تا ۷ درصد می‌باشد. همچنین کم‌ترین درصد خطا برای مدل‌های مختلف مربوط به عدد فرود بالادست کم‌تر می‌باشد.

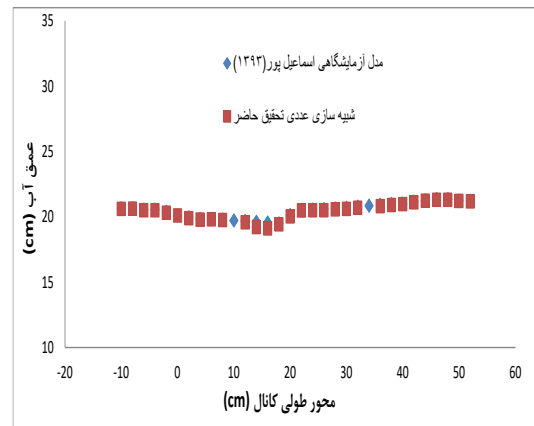
$$RE_{Cm}(\%) = \frac{|cd_o - cd_N|}{cd_o} \times 100 \quad (8)$$

در رابطه فوق اندیس ۰ مربوط به مقادیر آزمایشگاهی و اندیس N مربوط به مقادیر عددی به دست آمده از نرم‌افزار فلوئنت می‌باشد.

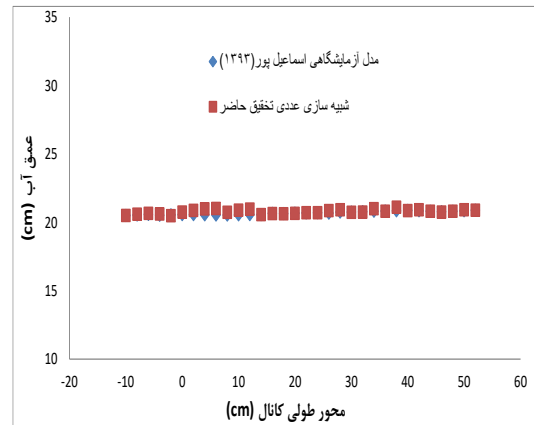
در شکل ۸ ضریب دبی شبیه‌سازی شده با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده است. با توجه به این شکل داده‌های آزمایشگاهی با مقادیر عددی تطابق خوبی دارد و ضریب همبستگی ۰/۹۸۰۶ به دست آمد.



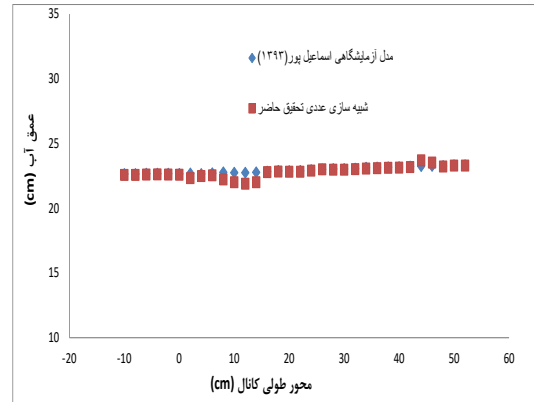
شکل ۸- تغییرات ضریب دبی شبیه‌سازی شده به ازای داده‌های آزمایشگاهی در مدل‌های مختلف



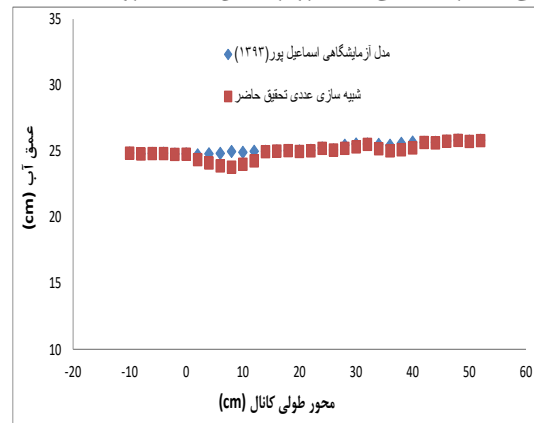
الف) تغییرات سطح آب سرریز جانبی با عدد فرود ۰/۱۷۶



ب) تغییرات سطح آب سرریز جانبی با عدد فرود ۰/۲۰۷



ج) تغییرات سطح آب سرریز جانبی با عدد فرود ۰/۲۷۵

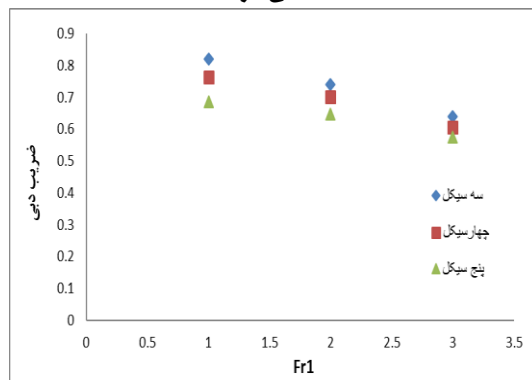


د) تغییرات سطح آب سرریز جانبی با عدد فرود ۰/۳۳۸

جدول ۳- مقادیر خطای نسبی ضریب دبی جریان در مدل‌های مختلف

نوع مدل	انواع مدل	Fr1	Cm num	Cm obs	درصد خطای نسبی Cm (%)
سه سیکل	۱	۰/۱۷۶	۰/۷۹۹	۰/۷۹۹	۰
	۲	۰/۲۸۸	۰/۶۲۵	۰/۶۳۹	۲/۲۱۸
	۳	۰/۳۳۸	۰/۵۷۶	۰/۵۵۹	۳/۰۹۱
چهار سیکل	۱	۰/۱۷۶	۰/۷۵۰	۰/۷۵۹	۱/۱۸۲
	۲	۰/۲۰۷	۰/۶۵۲	۰/۶۷۸	۳/۸۳۴
	۳	۰/۲۸۸	۰/۶۲۵	۰/۶۰۹	۲/۵۱۵
	۴	۰/۳۳۸	۰/۵۷۵	۰/۵۴۰	۶/۵۲۹
پنج سیکل	۱	۰/۱۷۶	۰/۶۷۴	۰/۶۵۱	۲/۷۳۵
	۲	۰/۲۸۸	۰/۶۱۹	۰/۶۵۱	۳/۴۹۳
	۳	۰/۳۳۸	۰/۵۳۲	۰/۵۵۰	۳/۵۵۴

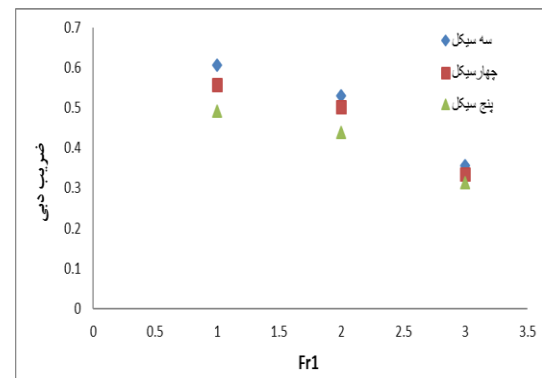
ب) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر



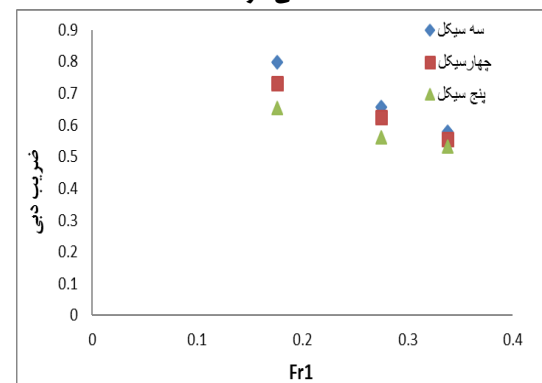
ج) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر

تأثیر عدد فرود بالادست بر ضریب دبی سرریز جانبی

عدد فرود بالادست سرریز جانبی توسط بسیاری از محققین به عنوان پارامتر مؤثر بر ضریب دبی پیشنهاد شده است. شکل ۹ تغییرات ضریب دبی را با اعداد فرود ۰/۱۷۶، ۰/۲۷۵ و ۰/۳۳۸ برای ارتفاع‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر سرریز جانبی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود بالادست ضریب دبی کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش عدد فرود تلاطم جریان بیش‌تر شده و مومنوم خروجی دارای قدرت بیش‌تری می‌باشد. همچنین با افزایش عدد فرود پراکندگی داده‌ها کم‌تر می‌شود



الف) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر

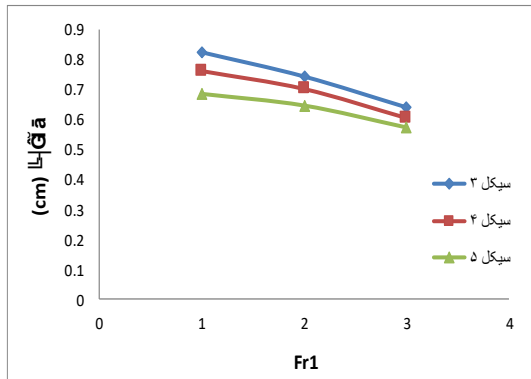


شکل ۹- تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای به ازای اعداد فرود مختلف

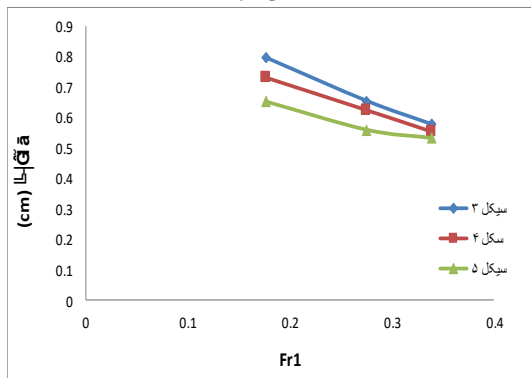
تأثیر تغییر شعاع کنگره‌ها بر ضریب دبی سرریز جانبی

به منظور بررسی تأثیر شعاع کنگره‌ها بر ضریب دبی، سرریز جانبی در سه شعاع مختلف ۶/۶۷ سانتی‌متر، ۵ سانتی‌متر و ۴ سانتی‌متر با طول باز شدگی ثابت ۴۰ سانتی‌متر مورد مطالعه قرار گرفت. شکل ۱۰ تغییرات ضریب دبی را به ازای اعداد فرود مختلف و با شعاع‌های متفاوت نشان می‌دهد. با افزایش شعاع کنگره‌ها، مقادیر ضریب دبی افزایش می‌یابد. به طوری که شعاع ۶/۶۷ سانتی‌متر بیش‌ترین ضریب دبی و شعاع ۴ سانتی‌متر کم‌ترین مقادیر ضریب دبی را ارائه می‌دهد. زیرا با افزایش شعاع کنگره‌ها طول مؤثر سرریز افزایش می‌یابد. درصد افزایش ضریب دبی سرریز جانبی با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر و به ازای عدد فرود ۰/۲۷۵ با شعاع ۶/۶۷ و ۵ سانتی‌متر نسبت به شعاع ۴ سانتی‌متر به ترتیب ۱۶/۴ و ۱۱/۱۸ درصد می‌باشد.

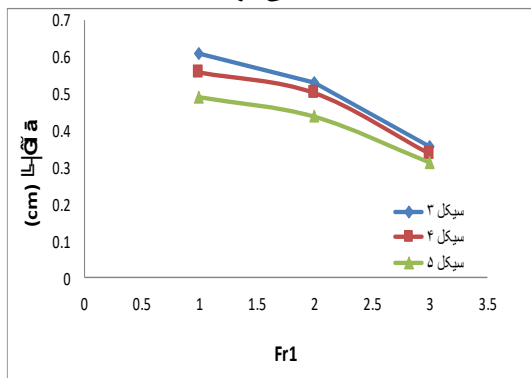
کاهش می یابد و این امر باعث کاهش طول مؤثر سرریز می شود در نتیجه ضریب دبی در حالت سه سیکل بیشترین مقادیر ضریب دبی و حالت پنج سیکل کمترین مقادیر ضریب دبی را دارد.



الف) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۰ سانتی متر



ب) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۵ سانتی متر

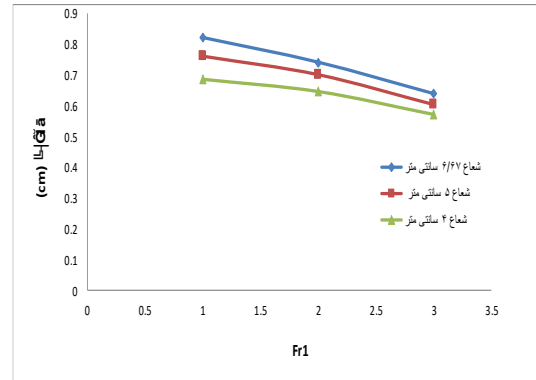


ج) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۲۰ سانتی متر

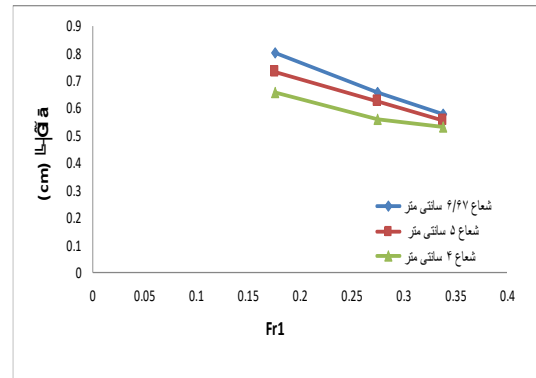
شکل ۱۱- تأثیر تعداد سیکل کنگره‌ها بر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای

تأثیر نسبت طول مؤثر به طول بازشدگی سرریز $\frac{L}{L_0}$ بر ضریب دبی سرریز جانبی

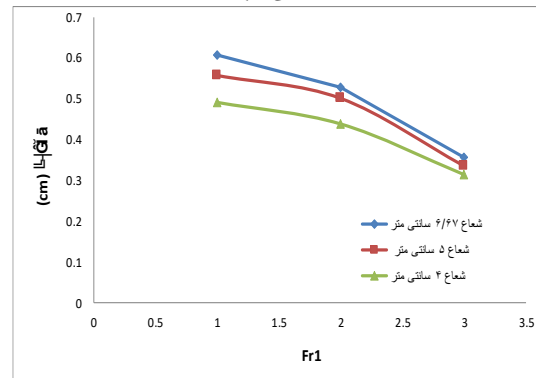
در شکل ۱۲ تغییرات ضریب دبی نسبت به عدد فرود بالادست به ازای مقادیر مختلف $\frac{L}{L_0}$ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود



الف) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۰ سانتی متر



ب) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۵ سانتی متر



ج) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۲۰ سانتی متر

شکل ۱۰- تأثیر شعاع کنگره‌ها بر ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای

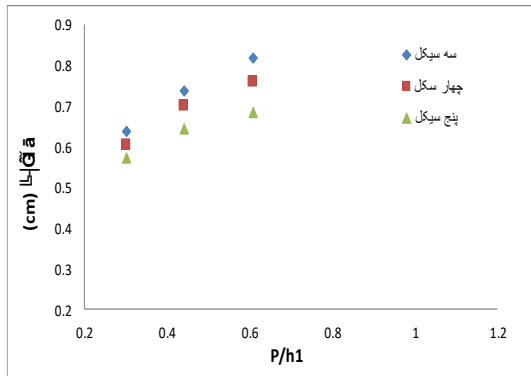
تأثیر تعداد سیکل کنگره‌ها بر ضریب دبی سرریز جانبی

جهت بررسی تأثیر تعداد سیکل کنگره‌ها بر ضریب دبی با ثابت در نظر گرفتن طول سرریز (۴۰ سانتی متر)، سرریز جانبی در سه حالت سه سیکل، چهار سیکل و پنج سیکل با ارتفاع‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۱۱ تغییرات ضریب دبی را به ازای اعداد فرود در سیکل‌های مختلف نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد سیکل ضریب دبی کاهش می‌یابد زیرا در طول بازشدگی ثابت با افزایش تعداد سیکل شعاع کنگره‌ها

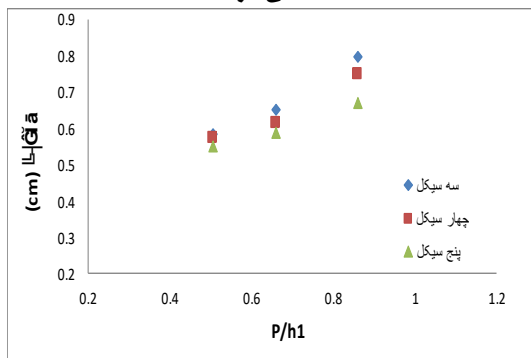
تأثیر نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب بالادست $\frac{P}{h_1}$ بر

ضریب دبی سرریز جانبی

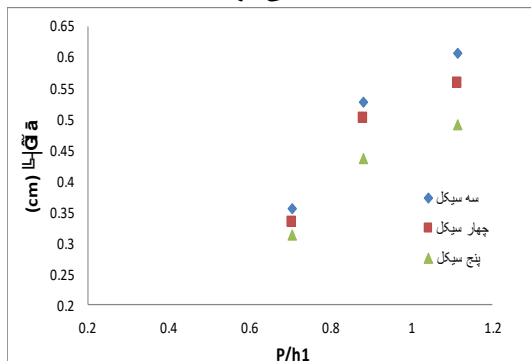
شکل ۱۳ تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی را به ازای پارامتر بی بعد $\frac{P}{h_1}$ نشان می‌دهد. تأثیر $\frac{P}{h_1}$ بر ضریب دبی را می‌توان با ناحیه جداسدگی جریان تشریح کرد. ناحیه جداسدگی جریان باعث ایجاد جریان‌های ثانویه شدید در محدوده سرریز جانبی می‌گردد که با افزایش نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب بالادست، شدت جریان‌های ثانویه ایجاد شده در محدوده سرریز جانبی کاهش می‌یابد و علت آن اصطکاک سرریز می‌باشد (17). در هر سه ارتفاع سرریز (۱۰، ۱۵ و ۲۰) تغییرات $\frac{P}{h_1}$ تابع h_1 بوده و پراکندگی داده‌ها به عدد فرود بالادست بستگی دارد.



الف) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر



ب) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر

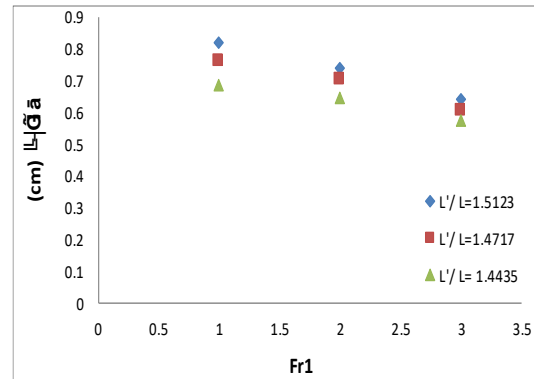


ج) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر

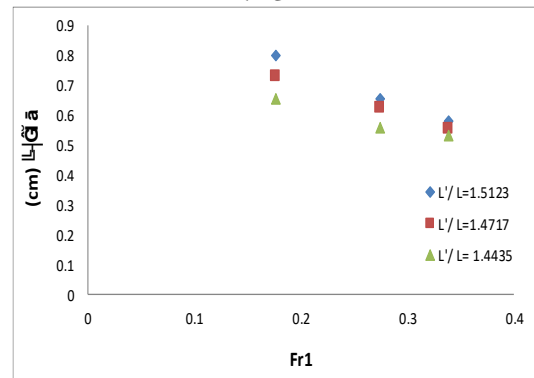
شکل ۱۳- تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای به

$$\text{ازای } \frac{P}{h_1} \text{ مختلف}$$

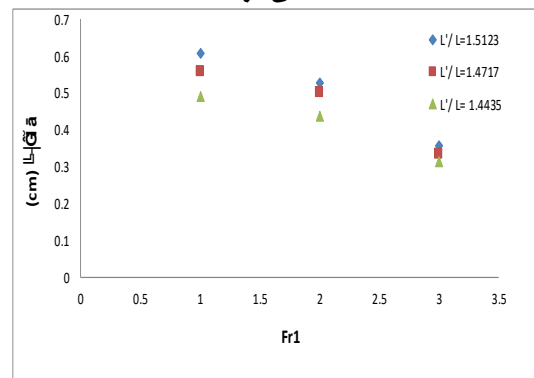
با افزایش نسبت $\frac{L'}{L}$ ضریب دبی بیشتر می‌شود. با توجه به ثابت بودن L طول بازسدگی سرریز، افزایش $\frac{L'}{L}$ به معنای افزایش L' طول مؤثر سرریز می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت طول مؤثر به طور مستقیم باعث افزایش ضریب دبی می‌شود.



الف) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر



ب) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر



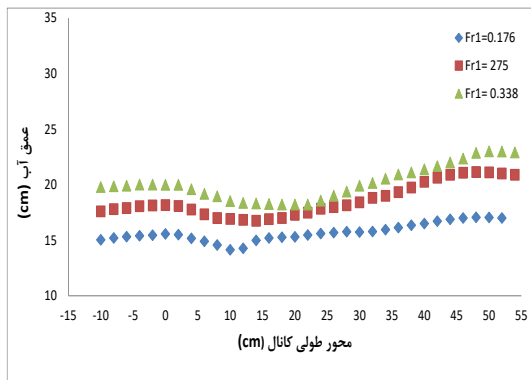
ج) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر

شکل ۱۲- تغییرات ضریب دبی به ازای L'/L در ارتفاع‌های مختلف سرریز جانبی

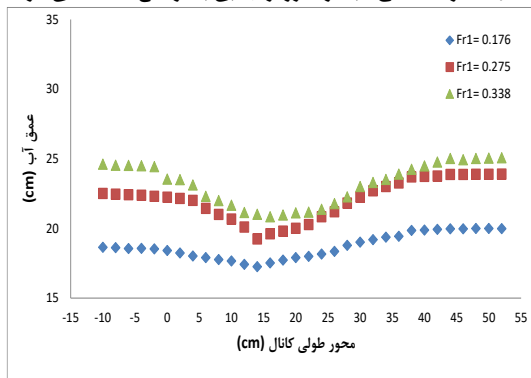
بررسی پروفیل‌های طولی سطح آب

در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ پروفیل‌های طولی سطح آب به ترتیب در فاصله یک سانتی‌متری سرریز جانبی و در محور مرکزی کانال اصلی با اعداد فرود ۰/۱۷۶، ۰/۲۷۵ و ۰/۳۳۸ و برای ارتفاع‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر با طول باز شدگی ۴۰ سانتی‌متر ارائه شده است. مطابق شکل ۱۵ تراز سطح آب در فاصله یک سانتی‌متری سرریز جانبی به دلیل تأثیر سرریز جانبی بر جریان بالادست، در قسمت ابتدایی سرریز افت کمتری نسبت به قسمت انتهایی سرریز جانبی دارد. همچنین با افزایش عدد فرود بالادست سرریز، تأثیر جریان‌های ثانویه و تلاطم جریان بیشتر می‌شود. با کاهش عدد فرود به دلیل کاهش شدت جریان‌های ثانویه تغییرات پروفیل سطح آب کم‌تر می‌شود.

شکل ۱۶ پروفیل طولی سطح آب در محور مرکزی کانال را نشان می‌دهد. به دلیل شرایط جریان زیر بحرانی عمق آب در بالادست سرریز جانبی کم‌تر از عمق آب در پایین دست آن می‌باشد. همچنین تراز سطح آب در امتداد خط مرکزی کانال اصلی تقریباً افقی است امیراوغلو و همکاران هم همین روند را در آزمایشات خود مشاهده کردند و با بیان اینکه اثر ورودی سرریز تنها در نزدیکی تاج سرریز رخ می‌دهد و اثر جریان‌های ثانویه تا محور مرکزی کانال ادامه نمی‌یابد، محور مرکزی کانال را بهترین نقطه برای اندازه‌گیری عمق آب در ابتدا و انتهای سرریز برای استفاده در معادله دی‌مارچی معرفی کردند (18).



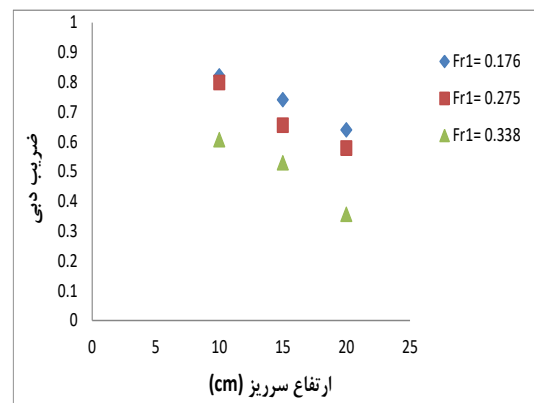
الف) تغییرات سطح آب در سرریز جانبی به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر



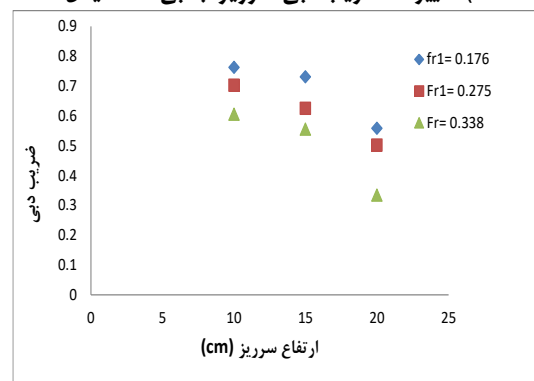
ب) تغییرات سطح آب در سرریز جانبی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر

تأثیر تغییر ارتفاع سرریز جانبی کنگره‌ای بر ضریب دبی

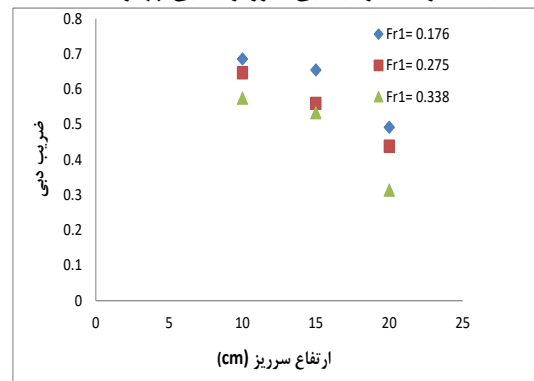
شکل ۱۴ تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای را در برابر ارتفاع‌های مختلف سرریز نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش ارتفاع سرریز، به دلیل منحرف شدن بیش‌تر جریان به طرف سرریز جانبی، ضریب دبی سرریز افزایش می‌یابد درصد افزایش ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای سه سیکل به ازای عدد فرود ۰/۱۷۶ با ارتفاع ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر نسبت به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر به ترتیب ۲۶ و ۲۰ درصد می‌باشد. همچنین با توجه به شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که سرریز جانبی کنگره‌ای نیم‌دایره‌ای سه سیکل با ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر دارای ضریب دبی بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی می‌باشد.



الف) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی سه سیکل



ب) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی چهار سیکل



ج) تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی پنج سیکل

شکل ۱۴- تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی کنگره‌ای در سیکل‌های متفاوت نسبت به تغییر ارتفاع سرریز

تأثیر تغییر ارتفاع سرریز جانبی بر پروفیل طولی سطح آب

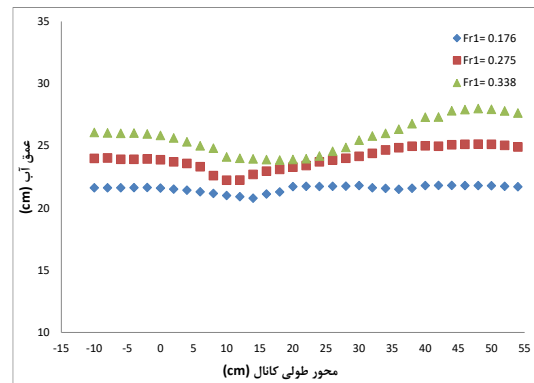
در شکل ۱۵ تغییرات پروفیل طولی سطح آزاد جریان برای سه ارتفاع ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر نشان داده شد. همان طور که مشاهده می شود با کاهش ارتفاع سرریز مقدار عمق اولیه کاهش یافته و میزان نوسانات سطح آب افزایش می یابد. به طور متوسط با هر ۵ سانتی متر کاهش ارتفاع سرریز، میزان پایین افتادگی سطح آب ۳ درصد کاهش می یابد. محمدی و حسین زاده دلیر در آزمایشات خود نشان دادند که با کاهش ارتفاع تاج در یک دبی ثابت، به دلیل افزایش دبی خروجی از سرریز جانبی، پروفیل طولی سطح آب در ارتفاع تاج کمتر، پایین تر از ارتفاع تاج بیش تر قرار می گیرد. در این تحقیق نیز با توجه به شکل همین روند مشاهده می شود (19).

نتیجه گیری

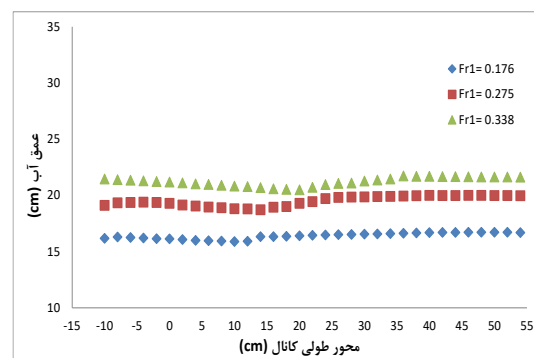
در تحقیق حاضر، تأثیر تغییر ارتفاع سرریز جانبی کنگره ای نیم دایره ای دوطرفه بر روی ضریب دبی و پروفیل طولی سطح آب در کانال اصلی مورد بررسی قرار گرفت. بررسی عددی این سرریز، این امکان را فراهم کرد تا در کمترین زمان و بدون هزینه ساخت سرریز، ضریب دبی در مدل های مختلف با تغییر دادن ارتفاع سرریز، شعاع و تعداد سیکل کنگره ها بررسی شود. مقایسه نتایج حاصل از مدل فیزیکی و مدل عددی بیانگر تطابق خوبی بودند. لذا می توان مدل عددی را به دلیل هزینه کمتر و زمان بهینه تر جایگزین مدل فیزیکی کرد هم چنین می توان با استفاده از تشابه دینامیکی از نتایج به دست آمده از شبیه سازی عددی برای کانال های روباز واقعی و رودخانه های طبیعی با ابعاد بسیار بزرگ تر از مدل آزمایشگاهی بهره گرفت. با توجه به این که جریان آب در کانال ها در محدوده آشفته می باشد و جریان در سرریزهای جانبی متلاطم بوده و پارامترهای جریان متأثر از لزجت نمی باشد و تغییر ناچیز لزجت و حتی ضریب اصطکاک در رابطه داری - و سیباخ در جریان آب در کانال ها مستقل از عدد رینولدز و تابعی از زبری نسبی به دست می آید. بنابراین می توان از عدد رینولدز صرف نظر کرد. از طرفی به دلیل آنکه جریان آب در کانال ها دارای سطح آزاد می باشد به نیروی ثقل حساسیت زیادی داشته و با تغییر در نیروی ثقل وضعیت جریان سریعاً تغییر می کند. لذا، عدد فرود نقش مهمی در مطالعات و معادلات به دست آمده در جریان آب در کانال ها دارد. در مدل های فیزیکی از جریان های با سطح آزاد تشابه دینامیکی بین مدل و نمونه اصلی بر پایه عدد فرود جریان قرار داده می شود. و این به معنی اهمیت نیروی ثقل در رفتار جریان در کانال های باز است.

پیشنهادات

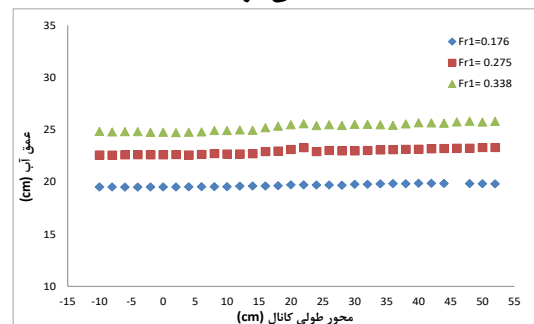
محورهای زیر می تواند در راستای اقدامات لازم در آینده مطرح شود:
 ۱- بررسی عددی تأثیر تغییر ارتفاع سرریز جانبی بر پروفیل طولی سطح آب در سرریز جانبی نیمه بیضی. ۲- بررسی تأثیر ارتفاع سرریز جانبی کنگره ای نیم دایره ای بر ضریب دبی و الگوی جریان در شرایط تشکیل پرش هیدرولیکی در امتداد سرریز جانبی. ۳- بررسی تأثیر تغییر



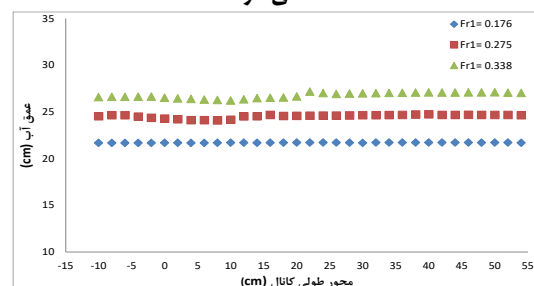
شکل ۱۵- تغییرات سطح آب در سرریز جانبی به ارتفاع ۲۰ سانتی متر ج) پروفیل های طولی سطح آب در سرریز جانبی کنگره ای چهار سیکل در فاصله یک سانتی متری سرریز جانبی



الف) تغییرات سطح آب در سرریز جانبی به ارتفاع ۱۰ سانتی متر



ب) تغییرات سطح آب در سرریز جانبی به ارتفاع ۱۵ سانتی متر



ج) تغییرات سطح آب در سرریز جانبی به ارتفاع ۲۰ سانتی متر

شکل ۱۶- پروفیل های طولی سطح آب در سرریز جانبی کنگره ای چهار سیکل در امتداد محور مرکزی کانال

ارتفاع سرریز جانبی بر روی پارامترهای هیدرولیکی در شرایط جریان فوق بحرانی.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: فاطمه صفی‌لو، داود فرسادی‌زاده، هادی ارونتقی
روانشناسی و تحلیل داده‌ها: فاطمه صفی‌لو، داود فرسادی‌زاده
نظارت و نگارش نهایی: فاطمه صفی‌لو

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هر گونه تعارض منافع بوده است

حامی مالی

هزینه‌های تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

References

1. Crookston BM, Tullis BP. Hydraulic Design and Analysis of Labyrinth Weirs. I: Discharge Relationships. J Irrig Drain Eng. 2013;139(5).
2. Lux F. Design Methodology for Labyrinth Weirs. In: Proceedings of the international conference on hydropower [Internet]. 1993 [cited 2021 Sep 2]. p. 1397-407. Available from: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA307714.pdf#page=654>
3. Borghei SM, Jalili MR, Ghodsian M. Discharge Coefficient for Sharp-Crested Side Weir in Subcritical Flow. J Hydraul Eng [Internet]. 1999 Oct 1 [cited 2021 Sep 2];125(10):1051-6. Available from: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%290733-9429%281999%29125%3A10%281051%29>
4. LUX, F. Design and Construction of Labyrinth Spillways. 15th Comm Int des Gd Barrages, 1985 [Internet]. 1985 [cited 2021 Sep 2];249-74. Available from: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10012330557>
5. Hay N, Taylor G. Performance and Design of Labyrinth Weirs. J Hydraul Div [Internet]. 1970 Nov 1 [cited 2021 Sep 2];96(11):2337-57. Available from: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JYCEAJ.0002766>
6. Qu JQ, Ramamurthy ASRS, Tadayon RT, Chen ZC. Numerical simulation of sharp-crested weir flows. <https://doi.org/10.1139/L09-067> [Internet]. 2009 [cited 2021 Sep 2];36(9):1530-4. Available from: <https://cdnscepub.com/doi/abs/10.1139/L09-067>
7. Ghobadian R, Meratifashi E. Modified theoretical stage-discharge relation for circular sharp-crested weirs. Water Sci Eng
8. Esmaeilpour L, Farsadizadeh D, Dalir AH. Investigation of Hydraulic Characteristics of One-Side Semi-Circular Labyrinth Side Weir.
9. MARCHI de, G. Saggio Diteoria de Funzionamento Degli Stramazzi Lateral. L' Energ Elettr [Internet]. 1934 [cited 2021 Sep 2]; Available from: <https://ci.nii.ac.jp/naid/10004809588>
10. Zahedi Khameneh H, Khodashenas SR, Esmaili K. The Effect of Semi-circular Side Weirs on Hydraulic Properties and Discharge Coefficient of Side Weirs. J River Eng [Internet]. 2014 [cited 2021 Sep 2];5. Available from: <http://profdoc.um.ac.ir/paper-abstract-1043278.html>
11. Gharehveran, S. S. ; Farsadizadeh, D. ; Dalir AH. Experimental investigation of effects of piles on water surface profile in semi circular labyrinth side weir with one cycle. [Internet]. [cited 2021 Sep 2]. Available from: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20163070227>
12. Khalili M, Honar T. Discharge coefficient of semi-circular labyrinth side weir in subcritical flow. Water SA [Internet]. 2017 Aug 2 [cited 2021 Sep 2];43(3):433-41. Available from: <https://www.ajol.info/index.php/wsa/article/view/159659>
13. Niazkar M, Afzali SH. Application of new hybrid method in developing a new semicircular-weir discharge model. Alexandria Eng J. 2018 Sep 1;57(3):1741-7.
14. Daily JW. Fluid Dynamics by James W. Daily (1966-06-03): Amazon.com: Books [Internet]. [cited 2021 Sep 2]. Available from: <https://www.amazon.com/Fluid-Dynamics-James-Daily-1966-06-03/dp/B01FKUS00C>

15. El-Khashab A, Smith KVH. Experimental Investigation of Flow Over Side Weirs. J Hydraul Div [Internet]. 1976 Sep 1 [cited 2021 Sep 2];102(9):1255-68. Available from: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/JYCEAJ.0004610>
16. Emiroglu ME, Kaya N, Agaccioglu H. Discharge Capacity of Labyrinth Side Weir Located on a Straight Channel. J Irrig Drain Eng [Internet]. 2009 Apr 29 [cited 2021 Sep 2];136(1):37-46. Available from: <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29IR.1943-4774.0000112>
17. Mohammadi K, Dalir AH. Experimental Investigation of Hydraulic Jump in Side Weirs. Water Soil Sci [Internet]. 2014 Feb 20 [cited 2021 Sep 3];23(4):117-28. Available from: https://water-soil.tabrizu.ac.ir/article_886.html
18. Emiroglu ME, Agaccioglu H, Kaya N. Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels. Flow Meas Instrum. 2011 Aug 1;22(4):319-30.
19. F. N, D. F, A. HD, F. S. EXPERIMENTAL STUDY OF DISCHARGE COEFFICIENT OF TRAPEZOIDAL LABYRINTH SIDE-WEIRS [Internet]. Vol. 23. WATER AND SOIL SCIENCE (AGRICULTURAL SCIENCE); 2013 [cited 2021 Sep 3]. p. 247-57. Available from: <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?id=339051>

