Research Article





Numerical analysis of flow hydraulics in a culvert-weir system with a circular crest and gate

Donya Heidari ¹, Elham Izadinia^{2*}

1 Master's Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Shahid Ashrafi Esfahani University, Isfahan, Iran.

Corresponding Author email: elham.izadinia@gmail.com © The Author(s) 2024

Received: 16 Oct 2024

Accepted: 09 Dec 2024

Published: 24 Dec 2024

Extended Abstract

Introduction

Circular-crested weirs are crucial hydraulic structures in water engineering projects, playing a significant role in managing surface flow. These weirs are favored for their simple design and high flow capacity, making them widely used in various applications. The research aims to investigate the hydraulic characteristics of flow in a culvert-circular weir system, focusing on the impact of key parameters such as weir radius and gate opening on the discharge coefficient. The study utilizes computational fluid dynamics (CFD) simulations to analyze velocity profiles, water surface levels, and other flow parameters. By modeling different configurations of the culvert-circular weir system in Gambit and transferring these models to Fluent for precise CFD simulations, the research evaluates the discharge coefficients of the weir, gate, and the entire structure under varying water head conditions. The findings indicate that the discharge coefficient increases with the presence of a gate compared to a weir without a gate, and that reducing the weir radius while increasing the gate opening enhances the discharge coefficient. Furthermore, the comparison of numerical simulation results with reliable experimental data demonstrates a good agreement, validating the accuracy of the numerical modeling. This research aims to provide precise data and practical analyses to improve the design and performance of combined hydraulic structures.

Materials and Method

The study employs CFD simulations to analyze the flow characteristics of the culvert-circular weir system. The simulation process follows several key steps. First, the geometry of the flow is defined, including the fluid and its path, using software like ANSYS Design Modeler or Gambit. Next, a mesh or element is generated to facilitate numerical solutions of the fluid equations, utilizing the finite volume method in Fluent. Boundary conditions are applied to specify flow characteristics, fluid properties, and dynamic mesh settings. The k- ε turbulence model is chosen for its rapid convergence and high accuracy, particularly for turbulent flow simulations. This model allows for detailed analysis of velocity profiles, pressure, and turbulence parameters across the flow domain. The study evaluates two groups of models: Group A focuses on varying the weir radius,

Technical Strategies in Water Systems https://sanad.iau.ir/journal/tsws ISSN (Online): 2981-1449 Summer 2024: Vol 2, Issue 2 https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1191046



while Group B examines different gate openings. The geometric specifications of the models are summarized in a table, detailing the radius, gate opening, and discharge rates.

Results and Discussion

The results reveal significant insights into the hydraulic performance of the culvert-circular weir system. For Group A, as the weir radius decreases, the discharge coefficient increases, with the lowest coefficient observed at a radius of 15 cm and the highest at 5 cm. In Group B, the maximum discharge coefficient corresponds to a gate opening of 10 cm, while the minimum is for a 3 cm opening. The water surface profile analysis shows that the flow depth upstream increases with a larger weir radius, while downstream levels remain consistent across different radii. Additionally, the velocity profiles indicate that flow velocity peaks near the water surface and decreases downstream. The study also illustrates how varying the gate opening affects flow characteristics, with higher openings leading to increased flow rates and velocity near the weir.

Conclusion

The findings of this research demonstrate that the discharge coefficient in gated weirs is greater than that in ungated weirs. Additionally, reducing the weir radius results in an increased discharge coefficient. The analysis emphasizes the importance of both weir radius and gate opening in optimizing hydraulic designs. The results provide valuable insights for engineers in designing more efficient hydraulic structures, contributing to improved water management practices. Future work could explore additional parameters and configurations to further enhance the understanding of flow dynamics in circular-crested weirs and their applications in hydraulic engineering.

Keywords: Circular weir, Computational Fluid Dynamics (CFD), Culvert-weir combination, Flow hydraulics, Numerical simulation

Research Article





Numerical analysis of flow hydraulics in a culvert-weir system with a circular crest and gate

Donya Heidari¹, Elham Izadinia^{2*}

1 Master's Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

2 Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Technology, Shahid Ashrafi Esfahani University, Isfahan, Iran.

Corresponding Author email: elham.izadinia@gmail.com

© The Author(s) 2024

Received: 16 Oct 2024

Accepted: 09 Dec 2024

Published: 24 Dec 2024

Abstract

Weirs are essential components in water engineering projects, effectively managing surface flows. Among these structures, circular-crested weirs are particularly popular due to their simple design and high flow capacity. This study primarily focuses on investigating the hydraulic characteristics of flow in a culvert-weir system with a circular crest and analyzing the effects of critical parameters such as crest radius and gate opening on the discharge coefficient. For this purpose, velocity profiles, water surface levels, and other flow parameters were analyzed as the main variables. Various models of the culvert-weir system with circular crests were designed and meshed using Gambit software, then imported to Fluent software for detailed computational fluid dynamics (CFD) simulations. The discharge coefficients of the weir crest, gate, and the entire structure were calculated and compared under different water load conditions and independent parameters. The results indicate that the discharge coefficient of the weir crest is higher when a gate is present compared to a gate-free condition. Furthermore, the discharge coefficient increases as the crest radius decreases and the gate opening expands. Additionally, the comparison between numerical simulation results and reliable experimental data shows a high level of accuracy and satisfactory agreement, validating the numerical modeling approach. This study provides precise data and practical analyses to improve the design and performance of combined hydraulic structures.

Keywords: Circular Weir, Computational Fluid Dynamics (CFD), Culvert-Weir Combination, Flow Hydraulics, Numerical Simulation

110

مجله راهبردهای فنی در سامانههای آبی https://sanad.iau.ir/journal/tsws شاپا الکترونیکی: ۱۴۴۹–۱۹۴۹ تابستان ۱۴۰۳، دوره دو، شماره۲، ۱۲۶–۱۱۴ https://doi.org/10.30486/TSWS.2024.1191046

مقاله پژوهشی

تحلیل عددی هیدرولیک جریان در سیستم کالورت-سرریز تاجدایرهای همراه با دریچه

دنیا حیدری^۱، الهام ایزدینیا^{۲*}

یذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۱۹

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد،گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

۲. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، اصفهان، ایران.

ايميل نويسنده مسئول: elham.izadinia@gmail.com

© The Author(s) 2024

چاپ: ۱۴۰۳/۱۰/۰۴

سرریزها نقشی حیاتی در پروژههای مهندسی آب دارند و به مدیریت جریانهای سطحی کمک میکنند. یکی از انواع پرکاربرد این سازهها، سرریز با تاجدایرهای است که به دلیل طراحی ساده و توانایی بالا در عبور جریان، در بسیاری از پروژهها مورد استفاده قرار میگیرد. در این پژوهش، هدف اصلی بررسی ویژگیهای هیدرولیکی جریان در سیستم کالورت- سرریز با تاجدایرهای و تحلیل تأثیر پارامترهای کلیدی مانند شعاع تاج و بازشدگی دریچه بر ضریب دبی است. به این منظور، پروفیلهای سرعت، سطح آب، و سایر پارامترهای جریان به عنوان متغیرهای اصلی تحلیل شدهاند. مدلهای مختلف سیستم کالورت- سرریز با تاجدایرهای در نرمافزار کمبیت طراحی و شبکهبندی شده و سپس به نرمافزار فلوئنت منتقل شدهاند تا شبیهسازیهای دقیق دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) صورت گیرد. در این مطالعه، ضریب دبی تاج سرریز، دریچه، و کل سازه سرریز برای مقادیر مختلف بار آبی و پارامترهای متغیر محاسبه و مقایسه شده است. نتایج این پژوهش نشان میدهد که ضریب دبی تاج سرریز برای مقادیر مختلف بار آبی و پارامترهای دریچه بوده و با کاهش شعاع تاج و افزایش بازشدگی دریچه، و کل سازه سرریز برای مقادیر مختلف بار آبی و پارامترهای معددی با دادههای آزمایشگاهی معتبر نشاندهنده مطابقت قابل قبول و دقت بالای مدل سازی عددی است. این تحقیق تلاش دارد تا با ارائه دادههای آزمایشگاهی کاربردی، راهکارهایی برای بهبود طراحی و عملکرد سازه های آبی ترکیبی ارائه دهد

واژههای کلیدی: سرریز دایرهای، دینامیک سیالات محاسباتی(CFD)، کالورت- سرریز ترکیبی، هیدرولیک جریان، شبیهسازی عددی







دریافت: ۱۴۰۳/۷/۲۵

چکیدہ

۱- مقدمه

سرریزهای تاجدایره ای، که به عنوان یکی از انواع سرریزهای لبهباریک شناخته می شوند، از جمله سازه های هیدرولیکی پرکاربرد در پروژه های مهندسی آب به شمار می روند. این نوع سرریزها در اواخر قرن نوزدهم و اوایل قرن بیستم، قبل از معرفی سرریزهای اوجی شکل، به طور وسیعی استفاده می شدند و به دلیل ویژگی های خاص خود در بسیاری از کاربردهای مدرن حضور دارند. در طول قرن نوزدهم، با افزایش تقاضا برای ظرفیت های بالاتر در تخلیه آب از سازه ها، طراحی سرریزهای تاجدایره ای مورد توجه قرار گرفت و این تلاش ها به شکوفایی این نوع سرریزها منجر شد(Ghobadian et al. 2012). سرریزهای تاج دایره ای و استوانه ای در مقایسه با دیگر سازه های اندازه گیری و کنترل جریان، از مزایای قابل توجهی برخورد ار هستند. این مزایا شامل ایجاد الگوی پایدار جریان ریزشی، عبور آسان اجسام شناور بدون اختلال در جریان، طراحی ساده و قابلیت انعطاف، ضریب جریان بالا و پایداری جریان است. از دیگر ویژگی های برحسته این سرریزها می توان به قابلیت طراحی ساده و قابلیت انعطاف، ضریب جریان بالا و پایداری جریان است. از دیگر به همین دلیل، سرریزهای تاجدایره ای موان به قابلیت طراحی ساده و قابلیت انعطاف، ضریب جریان بالا و پایداری جریان است. از دیگر مهین دلیل، سرریزهای تاج دایره ای می وان به قابلیت طراحی ساده و قابلیت انعطاف، ضریب جریان بالا و پایداری جریان و سازه های ویژگی های برحسته این سرریزها می توان به قابلیت طراحی در مقیاس های بزرگ و کاهش هزینه های ساخت و بهره برداری اشاره کرد. تخلیه آب در پروژه های مختلف به کار می روند. این سرریزها به ویژه در کنترل سطح آب در کانالها، مخازن و همچنین در سیستم های آبیاری و مدیریت منابع آب بسیار موثر هستند(Bergi Poor & Bina, 2005). به طور خلاصه، سرریز تاج دایره ای شامل تاجی است که به شکل یک قطاع از دایره با شعاع R هراحی شده و به صورت عمود بر جریان قرار گرفته است، به طوری که دیواره های بالادست و پایین دست آن با افق زاویه های می و β تشکیل می دهند. رابطه ار تفاع – دبی در واحد عرض جریان (q) برای این سرریزهای لبه برای کر و سین هرای شامل تاجی است به صورت زیر نوشته می شود. در اکثر تحقیقات مرد ها سرریزها، ضریب دیی (C) از رابطه (۱) محاسبه می شود.

$$q = \frac{2}{3}C_d \sqrt{2gH_1^3} \tag{1}$$

در رابطه (۱)، q دبی در واحد عرض در بالادست سرریز، g شتاب ثقل، H_1 بار آبی کل نسبت به تاج سرریز و C_d ضریب دبی سرریز است. شکل (۱)، جریان عبوری از روی سرریز را نشان میدهد که در آن R_b قطاعی از دایره به شعاع دیوارههای بالادست و پاییندست آن است که با افق زوایای α و β می سازد و به صورت عمود بر جهت جریان نصب می شود. H_1 بار آبی کل نسبت به تاج سرریز و D بازشدگی دریچه است.



Fig 1. Cross-section of a circular-crested weir

یکی از روش های مهم و رایج برای تحلیل رفتار سیال در سرریزها، استفاده از مدلهای فیزیکی است. این مدلها می توانند در صورتی که شرایط مدلسازی بهدقت شبیه سازی شوند، نتایج دقیقی ارائه دهند که در بسیاری از موارد قابل استناد هستند. با این حال، یکی از چالش های اصلی استفاده از مدلهای فیزیکی در پروژه های مهندسی، زمان طولانی و هزینه های بالا است. به عنوان مثال، برای بررسی پدیده هایی پیچیده مانند کاویتاسیون، ممکن است مدت زمان زیادی نیاز باشد و حتی در برخی از مسائل، مدل سازی شرایط محیطی با دماهای بسیار بالا، مانند ۲۰۰۰ درجه سانتی گراد، ممکن است دشوار یا حتی غیرممکن باشد. این موضوع باعث می شود که استفاده از روش های عددی به عنوان یک راه حل کارآمد، امکان پذیر شود. روش های عددی، به ویژه روش های دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، این امکان را فراهم می آورند که در مدت زمان کوتاه تری به تحلیل سیستم های پیچیده پرداخته شود. این روش ها به محققان اجازه می دهند که گزینه های مختلف را بررسی کرده و آنها را با هزینه های بسیار کمتر نسبت به آزمایش های فیزیکی ارزیابی کنند. علاو مبر سرعت بیشتر، روش های عددی می توانند اطلاعات دقیق تری از جمله تغییرات سرعت، فشار و دما را در سراسر محدوده موردنظر ارائه دهند. این در حالی است که جمع آوری چنین داده هایی از طریق آزمایش های فیزیکی معمولاً پیچیده، زمان بر و گاهی غیر عملی است.

یکی از مزایای برجسته استفاده از روشهای CFD نسبت به روشهای تجربی عبارت است از:

کاهش چشمگیر در زمان و هزینه طراحیهای جدید: با استفاده از شبیهسازیهای عددی، میتوان طراحیها و آزمایشهای مختلف را بدون نیاز به ساخت مدلهای فیزیکی و انجام آزمایشهای پیچیده و پرهزینه انجام داد.

امکان بررسی سیستمهایی که آزمایش بر روی آنها دشوار یا غیرممکن است: برای مثال، تحلیل سیستمهای بسیار بزرگ یا سیستمهایی که در شرایط خاصی فعالیت میکنند، با استفاده از شبیهسازیهای عددی امکانپذیر است.

قابلیت مطالعه سیستمها در شرایط غیرعادی یا تصادفی: به کمک روشهای CFD میتوان به شبیهسازی شرایط غیرمنتظره و یا حالتهای ناپایدار که در آزمایشهای فیزیکی بهراحتی قابل بررسی نیستند، پرداخته و رفتار آنها را تحلیل کرد.

جزئیات بسیار بالای نتایج: روش های عددی به ویژه به محققان این امکان را میدهند که در سطح بسیار دقیقی از نتایج، از جمله پروفایل های سرعت، فشار و دما، تجزیه وتحلیل انجام دهند.

تحقیقات زیادی تاکنون روی سرریزهای تاجدایرهای انجام شده است. (Ramamurthy & Vo, 1993) به بررسی تأثیر زاویه وجه بالادست و پاییندست و شعاع تاج سرریز بر ضریب دبی پرداختند. (Negm et al., 2002) ضریب دبی و ویژگیهای هیدرولیکی سرریز لبهتیز دریچهدار با فشردگی جانبی را بررسی کردند. (Bhajantri et al., 2006) مدل دوبعدی از سرریز تاجدایرهای را مورد مطالعه قرار دادند و توزیع سرعت، فشار و ضریب دبی را با نتایج مدلهای فیزیکی مقایسه کردند که تطابق خوبی داشت. (Samani مطالعه قرار دادند و توزیع سرعت، فشار و ضریب دبی را با نتایج مدلهای فیزیکی مقایسه کردند که تطابق خوبی داشت. (Samani, 2009) دقیق مدلهای آزمایشگاهی را برای تعیین عمق آب و رابطه دبی تاج و دریچه مشاهده کردند. (If انقباض جانبی بررسی کردند و نتایج زاویه وجه بالا و پاییندست، جریان آزاد و مستغرق، و شعاع تاج سرریز بر ضریب دبی و ویژگیهای هیدرولیکی را با استفاده از مدل آزمایشگاهی بررسی کردند. (Severi et al., 2014) نیز تغییرات ضریب دبی و ویژگیهای هیدرولیکی را با استفاده از ۲۰ کالورت یا آبرو زیرزمینی سازه متداولی است که برای عبور جریان از زیر جاده، بزرگراه، خاکریز، مناطق مسکونی و سرریز استفاده می شود. کالورت ها از لحاظ شکل مقطع به پنج دسته مستطیلی، مربعی، دایره ای، بیضی و نیم بیضی تقسیم بندی می شوند. انتخاب شکل کالورت به عواملی مانند نوع و محل کاربرد و محدودیت اجرا بستگی دارد. متداول ترین نوع کالورت مستطیلی است. طراحی کالورت متأثر از عوامل مختلفی از جمله عملکرد هیدرولیکی کالورت، استحکام بنا، هزینه های کلی سازه و نگهداری و سایر موارد است؛ به همین منظور همیشه طراحی یک کالورت ایده آل مد نظر است. هدف این تحقیق بررسی شرایط هیدرولیکی جریان با استفاده از مدلسازی عددی است.

۲- مواد و روشها

CFD- شبیهسازی جریان به روشCFD

نرمافزار مورد استفاده از یک الگوریتم کلی برای شبیهسازی پیروی میکند که شامل مراحل زیر است:

تعیین هندسهی جریان: در این مرحله، سیال و مسیر حرکت آن مدلسازی می شود. این مدلسازی می تواند در محیطهایی مانند ANSYS Design Modeler یا گمبیت انجام شود.

تولید شبکه یا المان: برای حل عددی معادلات سیال از تکنیکهای ریاضی پیشرفته استفاده میشود. نرمافزار فلوئنت از روش حجم محدود یا کنترل حجم بهره میبرد. تولید شبکه به دقت مسأله و نوع هندسه جریان وابسته است و نقش کلیدی در حل دقیق مسأله ایفا میکند. این مرحله میتواند در نرمافزارهایی مانند ANSYS Icem CFD یا گمبیت انجام شود. خروجی این نرمافزارها با فرمت msh به عنوان ورودی در فلوئنت استفاده میشود.

اعمال شرایط مرزی: در این مرحله مدل جریان (آرام یا آشفته)، ویژگیهای فیزیکی سیال، فازهای جریان، شرایط مرزی روی سطوح و تنظیمات مربوط به مش دینامیکی مشخص میشود.

حل مسأله: تنظيمات مربوط به فرآيند حل در اين مرحله انجام مي شود.

پردازش نتایج: در این مرحله، تمام نتایج محاسباتی و اهداف موردنظر قابل بررسی هستند. این شامل مشاهدهی کانتورهای مختلف، خطوط جریان، بردارهای نرمال، استخراج نمودارها و ساخت انیمیشن از مدل جریان است. پردازش نتایج میتواند در نرمافزار فلوئنت یا محیطهای ANSYS Workbench و CFD Post انجام شود.

در تحقیق حاضر، برای تعیین سطح آزاد جریان و محاسبه عمق آب بالادست، از مدل K – E به دلیل سرعت همگرایی و دقت بالاتر استفاده شد. همچنین، برای برداشت پروفیل های سرعت، از مدل Reynolds Stress بهره گرفته شد. مقاطع پروفیل سرعت در طول کانال و سرریز با استفاده از قابلیت Iso Surface نرمافزار تعیین شدند و فاصلهی این مقاطع با نزدیک شدن به سرریز، به دلیل افزایش تغییرات، کاهش یافت. اندازه گیری دبی جریان عبوری از روی تاج و کالورت سازه با استفاده از پروفیل سرعت و انتگرال گیری انجام شد(Izadinia & Heidari, 2023). مدل $k-\varepsilon$ یکی از پرکاربردترین و شناخته شده ترین مدل های آشفتگی در دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است که برای شبیه سازی جریان های آشفته به کار می رود. این مدل بر اساس حل دو معادله برای توصیف رفتار آشفتگی در جریان طراحی شده است:

K: نشاندهنده انرژی جنبشی آشفتگی است که معیاری برای اندازهگیری شدت آشفتگی در جریان است.

(٤): نرخ اتلاف انرژی جنبشی آشفتگی است که نرخ تبدیل انرژی جنبشی آشفتگی به انرژی داخلی را نشان میدهد Izadinia et) al., 2022).

 $(k-\varepsilon)$ ا–۱–۱– تأثیر مدل ($k-\varepsilon$

دقت بیشتر در شبیهسازی جریانهای آشفته: این مدل با حل معادلاتی برای انرژی آشفتگی و نرخ اتلاف آن، توزیع آشفتگی را در جریان با دقت بیشتری محاسبه میکند. در جریانهایی با تغییرات شدید سرعت، مانند جریان روی سرریزها یا پشت موانع، مدل k - ɛ به دلیل دقت بیشترش میتواند نتایج دقیقی ارائه دهد.

کاربرد در جریانهای آزاد و نیمهمستغرق: این مدل برای شبیهسازی جریانهای آزاد، مانند جریانهای عبوری از سرریزها، که شامل ناحیههای مختلف از جمله ناحیههای جداشده و بازگردشی هستند، مناسب است. استفاده از مدل k – E به محققان امکان میدهد که رفتار جریان در نزدیکی سازهها مانند سرریزها را با دقت شبیهسازی کنند.

همگرایی سریعتر: مدل K – E نسبت به برخی دیگر از مدلهای آشفتگی، مانند مدلهای پیچیدهتر Reynolds Stress، از همگرایی سریعتری برخوردار است. این ویژگی به معنای کاهش زمان محاسبات است، بهویژه در مسائلی که حجم محاسبات زیاد است.

سادگی و پایداری: مدل E – E به دلیل ساختار سادهتر خود نسبت به سایر مدلهای آشفتگی، پایداری بالاتری دارد و بهراحتی میتواند در شرایط مختلف جریان به کار گرفته شود. این ویژگی باعث میشود که این مدل در شبیهسازیهای مهندسی سیالات به طور گسترده استفاده شود.

محدودیتها: مدل E – E در شبیهسازی جریانهای نزدیک به دیواره (جریانهای لایه مرزی) یا جریانهای دارای تغییرات شدید در مقیاس کوچک، مانند جریانهای با گردابههای پیچیده یا جریانهایی که به شدت وابسته به شرایط مرزی هستند، دقت کمتری دارد. برای اینگونه مسائل، مدلهای پیچیدهتری مانند k-E یا Reynolds Stress ترجیح داده می شوند(Izadinia et al., 2023).

۲-۲- مدل های مورد بررسی

(Ramamurthy & Vo, 1993) و (Schmocker et al., 2011) و (Ramamurthy & Vo, 1993) در پژوهشهای خود نشان دادند که زاویه وجه بالادست سرریز تاجدایره ای تأثیر چشم گیری در تغییرات ضریب دبی سرریز ندارد از این رو در تحقیق حاضر شعاع تاج سرریز و ارتفاع دریچه به عنوان متغیر در نظر گرفته شده اند. گروه A با سه شعاع تاج مختلف ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی متر و ٦ دبی ۱۸۰، ۲۲۰، ۲۰، ۲۰، ۳۰۰ و ۳۸۰ لیتر بر ثانیه و گروه B با ٤ ارتفاع دریچه مختلف ۳، ۵، ۷/ و ۱۰ سانتی متر و ٦ دبی در احد عرض مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است. پارامتر ثابت در این گروه شعاع تاج ۱۰ سانتی متر و زاویه وجه پایین دست ٤٥ درجه است، مورد ارزیابی قرار گرفته است. پارامتر ثابت در مدلهای A ارتفاع کالورت ۵ سانتی متر و زاویه وجه پایین دست ٤٥ درجه است، مورد ارزیابی قرار گرفته اند. پارامتر است.

۲–۳– طراحی هندسه سازه در نرم افزار گمبیت

برای طراحی هندسه سرریز-دریچه و کانال در نرمافزار گمبیت ابتدا از منوی Operation در سمت راست نرمافزار گزینه Geometry را انتخاب کرده و سپس برای طراحی دو بعدی از سه گزینه Edge ،Vertex و Edge به ترتیب برای ایجاد نقطه، خط و سطح استفاده شده است. در زیر مجموعه گزینه Face که برای طراحی سطح استفاده شده گذینههای تبدیل خطوط به سطح، ایجاد اشکال هندسی و اجتماع و استراک گیری از سطوح نیز در طراحی دو بعدی مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۲) کلیه گزینه های مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل (۲) کلیه گزینه های مورد استفاده نشان داده شده است. در شکل (۲) کلیه گزینه های مورد استفاده نشان داده شده است. در شکل (۲) کلیه گزینه مورد استفاده نشان داده شده قرار گرفته است. در شکل (۲) کلیه گزینه های مورد استفاده نشان داده شده است.



شکل۲- جزئیات پنجره Geometry برای طراحی هندسی سرریز-دریچه و حجم کنترل

Fig 2. Details of the Geometry window for designing the geometry of the weir-gate and control volume

۲-۳-۱ مشبندی هندسه سازه در نرم افزار گمبیت

برای مشربندی هندسه سرریز-دریچه و کانال در نرمافزار گمبیت ابتدا از منوی Operation در سمت راست نرمافزار گزینه Mesh را انتخاب کرده و سپس از گزینه Face برای مشربندی سطح استفاده شده است. با انتخاب گزینه Mesh Face در زیر مجموعه گزینه Face شکل و نوع مشربندی در قسمت Element و Type به ترتیب Quad و Pava انتخاب شده و اندازهی چشمهها در قسمت Spacing تعیین شده است. در شکل (۳) کلیه گزینههای مورد استفاده نشان داده شده است.

۲-۳-۲ تعیین شرایط مرزی در نرمافزار گمبیت

برای تعیین شرایط مرزی حجم کنترل در نرم افزار گمبیت ابتدا از منوی Operation در سمت راست نرمافزار گزینه Zones را انتخاب کرده و سپس از گزینه Specify Boundary Types برای تعیین شرایط مرزی استفاده شده است. در مرحله بعد ابتدا لبهی مورد نظر را انتخاب کرده و سپس در قسمت Type نوع شرط مرزی برای لبهی مورد نظر تعیین شده است. در شکل (٤) کلیه گزینههای مورد استفاده نشان داده شده است.

دریچه و حجم کنترل حجم كنترل Operation Zones Operation Specify Boundary Zones Mesh Types ₿1 0 0 Specify Boundary Type: FLUENT 5/6 **E** Action: ✓ Modify `Q" Add V Delete all ائتخاب لبهى V Delete Mesh Faces Name Type مورد نظر Faces SS_FLOW in2 PRESSURE Scheme: roof PRESSURE Elements: Quad out PRESSURE WALL wall Type: 1 Show labels Show colors Name: تعيين نوع Type: شرط مرزى Spacing: WALL -1

Fig 4. Details of the Zones window for defining boundary conditions of the control volume

شکل ٤- جزئیات پنجره Zones برای تعیین شرایط مرزی



۲-۴- صحت سنجی مدل عددی

برای صحتسنجی این پژوهش از مدلسازی عددی ۵ مدل آزمایشگاهی مورد بررسی در مقالات بین المللی استفاده شده است. مدلهای آزمایشگاهی مورد بررسی در این مقالات در نرمافزار شبیهسازی شده است. برای صحتسنجی دقت محاسبه ضریب دبی سرریز تاجدایرهای از دو مدل آزمایشگاهی مورد بررسی توسط (Ramamurthy & Vo, 1993) استفاده شد. دو سرریز تاجدایرهای به شعاعهای ۱۵/۲ و ۲/۵٤ سانتیمتر به صورت عددی در نرمافزار فلوئنت مدلسازی شد. مقایسه نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مطابقت خوبي را نشان مي دهد.

برای صحتسنجی توانایی مدلسازی سرریز و دریچه توسط نرم افزار فلوئنت از مدل آزمایشگاهی مورد بررسی توسط (Samani) (Mazaheri, 2009 & استفاده شد. در این بررسی سرریز لبهتیز دریچهدار بدون فشردگی جانبی در نرم افزار فلوئنت مدلسازی شد. مقایسه عمق آب بالادست محاسبه شده در مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مطابقت خوبی را نشان میدهد. عمق جریان در بالادست و پاییندست سرریز به ترتیب در فاصلههای دو برابر و هشت برابر نسبت به مرکز سرریز اندازهگیری شدند (Sing and Kumar, .(2022

برای صحتسنجی دقت محاسبه پروفیل سرعت و به دنبال آن پروفیل پارامترهای آشفتگی و فشار از دو مدل آزمایشگاهی مورد بررسی توسط (Bagheri & Heydarpour, 2010) استفاده شد. در این بررسی سرریز تاجدایرهای به شعاع ۸/۰٦۵ سانتیمتر با سه مدل آشفتگی متفاوت در نرم افزار فلوئنت مدلسازی شد. در این مدلسازی پروفیل سرعت تاج سرریز برای دو نسبت H/R متفاوت



شکل۳- جزئیات پنجره Mesh برای مشبندی سرریز-

۰/۸۵ و ۱/۲ استخراج شد. مقایسه نتایج مدل عددی با مدل آزمایشگاهی مطابقت خوبی را نشان میدهد. پارامترهای شکل (۵)، 'P فاصله تاج سرریز تا کالورت،P ارتفاع سرریز، D بازشدگی دریچه سرریز و R شعاع تاج دایرهای است.

```
شکل٥- مشخصات مدلهاي مورد ارزيابي
```



Fig 5. Specifications of the evaluated models

Table 1. Geometric specifications of the models						
Q(lit/s)	β	D(cm)	R(cm)	مدل		
۱۸۰، ۲۲۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۱۸۰	٤٥	٥	0	A١		
۱۸۰، ۲۲۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۱۸۰	٤٥	٥	١.	A۲		
۱۸۰، ۲۲۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۱۸۰	٤٥	٥	10	A٣		
۱۸۰، ۲۲۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۱۸۰	٤٥	٣	١.	В١		
۱۸۰، ۲۲۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۱۸۰	٤٥	٥	١.	В۲		
۱۸۰، ۲۲۰، ۳۰۰، ۳۰۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۱۸۰	٤٥	٧/٥	١.	В٣		
۱۸۰، ۰ ۲۲، ۰ ۳، ۰ ۳۰، ۲۲۰، ۲۲۰، ۱۸۰	٤٥	۱.	۱.	B٤		

ىندسى مدلھا	مشخصات ہ	جدول۱-
-------------	----------	--------

۳– نتایج و بحث

۳–۱– بررسی پروفیل سطح آب

پارامتر متغیر در سرریزها در گروه A شعاع تاج سرریز است. در شکل (٦) پروفیل سطح آب برای دبی ۲٦۰ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است. همانگونه که مشخص است، سطح آزاد جریان در بالادست با افزایش شعاع تاج افزایش یافته و پروفیل سطح آب در پاییندست از سرریز فاصله گرفته است. در پاییندست (در فاصله ٨/٠ متر تا انتها) سطح آب برای کلیه شعاعهای سرریز برابر است.



شکل٦- تغییرات پروفیل سطح آب در کالورت - سرریز تاج دایرهای بر اساس شعاع تاج سرریز

Fig 6. Variations in the water surface profile in the culvert-circular-crested weir based on the radius of the weir crest

پارامتر متغیر در سرریزها در گروه B مقدار بازشدگی دریچه است. در شکل (۷) پروفیل سطح آب برای دبی ۲٦۰ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است. سطح آب در بالادست با افزایش بازشدگی دریچه مقدار ناچیزی افزایش یافته است. به دلیل افزایش بازشدگی دریچه و به دنبال آن افزایش دبی دریچه و کاهش دبی سرریز پروفیل سطح آب در پاییندست از سرریز فاصله گرفته است. در پاییندست (در فاصله ۸/۰ متر تا انتها) سطح آب برای کلیه مقادیر بازشدگی دریچه برابر است.





Fig 7. Variations in the water surface profile in the culvert-circular-crested weir based on the gate opening

۲-۳- بررسی پروفیل های سرعت در طول کانال و سرریز

محور افقي مقدار سرعت بيبعد شده با ميانگين سرعت بالادست (v/U1) و محور قائم ارتفاع جريان (y) نسبت به ارتفاع بيشينه پروفیل (y_{max}) مورد نظر است. محور افقی بالای هر شکل فاصله هر پروفیل از ابتدای سرریز تقسیم بر طول سرریز (L) را نشان میدهد. همانگونه که اشاره شده است، پارامتر متغیر در کالورت – سرریز تاجدایرهای گروه A شعاع تاج سرریز است. شکل (۸-الف) توزیع سرعت را در بالادست سرریز نشان میدهد. با توجه به شکل جریان دارای مقدار سرعت بیشینه در نزدیک سطح آزاد است و با حرکت به سمت پاییندست جریان یکنواخت و توسعهیافته میشود. با توجه به اینکه در سرریز با شعاع تاج ۱۵ سانتیمتر سرعت جریان در نزدیکی بستر کاهش و با نزدیک شدن به سطح آب نسبت به دو شعاع دیگر ٥ و ١٠ سانتیمتر، ١٧ درصد اختلاف داشته می توان بیان نمود افزایش شعاع تاج سرریز باعث اثر گذاشتن در جریان بالادست سرریز شده است در حالیکه در دو شعاع دیگر پروفیلهای سرعت تقریباً یکسان هستند. با نزدیک شدن به سرریز جریان از حالت یکنواخت خارج شده و دارای مقدار بیشینهای در ورودی کالورت است. سرعت ورودی آب به کالورت با افزایش شعاع سرریز کمتر از ٤ درصد افزایش یافته است و با نزدیک شدن به سطح آزاد این روند معکوس شده و بیشترین سرعت مربوط به پروفیل با کمترین شعاع تاج سرریز است. شکل (۸-ب) تغییرات سرعت را در طول کالورت – سرریز نشان میدهد. همان گونه که مشخص است بیشینه سرعت جریان در دریچه نزدیک کف کانال و در ابتدای کالورت است. بیشینه سرعت جریان کالورت با کاهش شعاع تاج کمتر از ۳ درصد کاهش مییابد. تغییرات سرعت روی سرریز نشان میدهد بیشینه سرعت جریان روی تاج سرریز است که با کاهش شعاع ۱۳ درصد افزایش مییابد که نشان دهنده تأثیر کاهش شعاع در افزایش سرعت جریان تاج سرریز است. بیشینه سرعت جریان قبل از تاج سرریز نزدیک سطح آزاد است و با نزدیک شدن به تاج سرریز و پاییندست تاج این روند معکوس شده و بیشینه سرعت جریان در نزدیک سطح سرریز است. در پاییندست سرریز با کاهش شعاع سرعت کاهش یافته است. شکل (۸–ج) تغییرات سرعت را در پاییندست سازه نشان میدهد. مشاهده میشود که با فاصله گرفتن از سازه جریان یکنواخت شده و بیشینه سرعت جریان در نزدیک سطح آزاد است. درصد اختلاف سرعت جریان پاییندست سازه بین شعاع ٥ و ١٠ سانتیمتر، ۷ درصد و بین شعاع ١٠ و ١٥ سانتیمتر کمتر از ٣ درصد است که نشان دهنده تأثیر کم شعاع در سرعت پاییندست سازه است.

پارامتر متغیر در کالورت-سرریز تاج دایرهای مقدار بازشدگی دریچه است. شکل (۹- الف) توزیع سرعت را در بالادست سرریز نشان می دهد. با توجه به شکل جریان دارای مقدار سرعت بیشینه در نزدیک سطح آزاد است و با حرکت به سمت پایین دست جریان یکنواخت و توسعه یافته می شود. سرعت جریان با کاهش مقدار بازشدگی دریچه ۱۰ درصد افزایش می یابد که علت آن کاهش سطح مقطع جریان با داشتن یک دبی ثابت است. با نزدیک شدن به سرریز جریان از حالت یکنواخت خارج شده و دارای مقدار بیشینه ا در ورودی دریچه و نزدیک کف کانال است. مقدار بیشینه سرعت ورودی آب به دریچه با افزایش بازشدگی از کف کانال فاصله گرفته و ۱۱ درصد افزایش یافته است. بیشترین مقدار بیشینه سرعت مربوط به بازشدگی ۱۰ سانتی متر و در فاصله = *X / Y* مرودی دریچه و نزدیک کف کانال است. مقدار بیشینه سرعت مربوط به بازشدگی ۱۰ سانتی متر و در فاصله عده ک کرفته و ۱۱ درصد افزایش یافته است. بیشترین مقدار بیشینه سرعت مربوط به بازشدگی ۱۰ سانتی متر و در فاصله عده ک در ورودی دریچه و نزدیک کف کانال است. مقدار بیشینه سرعت مربوط به بازشدگی ۱۰ سانتی متر و در فاصله عده مشخص دریچه در حدود ۱۱ درصد افزایش یافته است. مقدار سرعت تا مقطع ۱۹۵۹ می با فزایش بازشدگی دریچه سرعت جریان در ماست بیشینه سرعت جریان در دریچه نزدیک کف کانال و در ابتدای دریچه است. با افزایش بازشدگی دریچه سرعت جریان در دریچه در حدود ۱۱ درصد افزایش یافته است. مقدار سرعت تا مقطع ۱۹۸۹ ها ۲ × بر روی سرریز با افزایش بازشدگی دریچه تقریباً ثابت شده است. با افزایش بازشدگی دریچه سرعت جریان روی تاج سرریز ۱۱۰ درصد کاهش یافته است. شکل (۹-چ) کاهش یافته که نشان دهنده کاهش دبی عبوری روی سرویز است و بعد از آن با توجه به کاهش سطح مقطع جریان بیشینه سرعت تغییرات سرعت را در پایین دست سریز نشان می دهد. مشاهده می شود که با فاصله گرفتن از سرین یا یانی بیشاده و بیشینه سرعت جریان در نزدیک سطح آزاد است. سرعت جریان در پایین دست سرریز با افزایش یافته است. شکل (۹-چ) نویبا شان دهنده تاش دانش می دهد. مشاهده می شود که با فاصله گرفتن از سرین دین یکن اخت شده و بیشینه مرعت جریان در نزدیک سطح آزاد است. سرعت جریان در پایین دست سرریز با افزایش بازشدگی دریچه ۳ درصد افزایش یافته شکل ۸- تغییرات پروفیلهای سرعت بر اساس شعاع تاج سرریز الف) در بالادست، ب) در طول سرریز-دریچه و ج) در پاییندست کالورت- سرریز



Fig 8. Variations in velocity profiles based on the radius of the weir crest: a) upstream, b) along the weir-gate, and c) downstream of the culvert-circular-crested weir



Fig 9. Variations in velocity profiles based on the gate opening: a) upstream, b) along the weir-gate, and c) downstream of the culvert-circular-crested weir

۴- نتیجهگیری

نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان میدهد که ضریب دبی در سرریزهای دریچهدار بیشتر از سرریزهای بدون دریچه است. همچنین با کاهش شعاع تاج سرریز، ضریب دبی افزایش می یابد. در سرریزهای گروه A، کمترین ضریب دبی مربوط به شعاع تاج ۱۵ سانتی متر است که ضریب دبی در محدوده ۱/۲ تا ۱/۳۲ تغییر می کند، در حالی که بیشترین ضریب دبی مربوط به شعاع ۵ سانتی متر است که ضریب دبی در محدوده ۱/۱ تا ۱/۵۲ تغییر دارد. علاوه بر این، با افزایش بازشدگی دریچه در نسبت H₁/R، مقدار ضریب دبی افزایش یافته و اثر دریچه بر ضریب دبی تقویت می شود. در سرریزهای گروه B، بیشترین ضریب دبی مربوط به شعاع ۵ سانتی متر است که سانتی متر است که ضریب دبی در محدوده ۱/۵ تا ۱/۵۲ تغییر دارد. علاوه بر این، با افزایش بازشدگی دریچه در نسبت H₁/R، مقدار ضریب دبی افزایش یافته و اثر دریچه بر ضریب دبی تقویت می شود. در سرریزهای گروه B، بیشترین ضریب دبی مربوط به بازشدگی دریچه ۱۰ سانتی متر است که ضریب دبی در محدوده ۱/۵ تا ۱/۶۲ تغییر می کند و کمترین ضریب دبی مربوط به بازشدگی دریچه تا سانتی متر است که ضریب دبی در محدوده ۱/۱ تا ۱/۵ تعیر دارد. این نتایج نشان می دهند که تغییرات در شعاع تاج و بازشدگی دریچه تاثیر قابل ضریب دبی در محدوده ۱/۱ تا ۱/۵ تغییر دارد. این نتایج نشان می دهند که تغییرات در شعاع تاج و بازشدگی دریچه تاثیر قابل توجهی بر ضریب دبی سرریزها دارند و می توانند در بهینه سازی طراحی های هیدرولیکی موثر باشند.

٥- تضاد منافع نويسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام میدارند که هیچ تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

8- منابع

Bagheri, S., & Heydarpour, M. (2010). Application of Euler equations in determining the discharge coefficient of circular crest spillways. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 40(1)67-73. (In Persian)

Beigi Poor, G., & Bina, M. (2005). Hydraulic flow in circular and cylindrical crested weirs. 5th Iranian Hydraulic Conference, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran, 1-8.

Bhajantri, M.R., Eldho, T.I., & Deolalikar, P.B. (2006). Hydrodynamic modelling of flow over a spillway using a twodimensional finite volume-based numerical model. *Sadhana*, 31(6), 743-754. https://doi.org/10.1007/BF02716893

Ghobadian, R., Farmani Fard, M., & Karami, A. (2012). Effect of crest roughness and body on discharge coefficient and hydraulic conditions of flow in circular crested weirs using a physical model. *Journal of Soil and Water Sciences*, 22(1), 1-8.

Izadinia, E., & Heidari, D. (2023). Flow simulation in a combined culvert-circular crown spillway structure, 22nd Iranian Hydraulic Conference, Maragha. https://civilica.com/doc/1963858

Izadinia, E., & Heidari, D. (2022). Flow simulation in a combined structure of culvert and circular crown spillway, 21st National Conference of Iranian Hydraulics, Ahvaz. https://civilica.com/doc/1694896

Negm, A.M., Al-Brahim, A.M., & Alhamid, A.A. (2002). Combined-free flow over weirs and below gates. *Journal of Hydraulic Research*, 40(3), 359-365. https://doi.org/10.1080/00221680209499950

Ramamurthy, A.S., & Vo, N.D. (1993). Characteristics of circular crested weir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(9), 1055–1062.

Samani, J., & Mazaheri, M. (2009). Combined flow over weir and under gate. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(3), 224–227. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2009)135:3(224)

Schmocker, L., Halldórsdóttir, B., & Hager, W. (2011). Effect of weir face angles on circular-crested weir flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 137(6), 637–643. https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000346

Severi, A., Masoudian, M., Kordi, E., & Roettcher, K. (2014). Discharge coefficient of combined-free over-under flow on a cylindrical weir-gate. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 42-52. https://doi.org/10.1080/09715010.2014.939503