

S. Emami

Ph.D. student of Water Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

e-mail: somayhemami70@gmail.com

J. Parsa*

Assistant Professor of Water Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

e-mail: jparsa@tabrizu.ac.ir

Numerical Investigating of Flow and Discharge Coefficient Over the Duckbill and Oblique Weirs

For a given channel width, duckbill and oblique weirs have longer effective length, and this could be effective on their discharge coefficients and efficiency. In this study, we tried to examine the role of some of the hydraulic and geometric parameters of mentioned weirs and their height on the discharge coefficient into the channel using the Fluent numerical model and the results of this model compared with the Flow-3D model and experiments data. The pressure, velocity, turbulence, and the free surface of the flow were modeled by $k-\varepsilon$ RNG and volume of fluid (VOF) algorithms, respectively. The NRMSE of the Fluent model in the simulation of the discharge coefficient was 0.0565, which indicates the high accuracy of the model. Results showed that in both weirs, the discharge coefficient decreases with increasing discharge or upstream head. The maximum discharge coefficient was found in the $H/P \leq 0.35$ in both weirs. The results indicated the oblique weirs had a higher discharge coefficient compared with duckbill weirs and thus had higher flow capacity.

Keywords: Discharge Coefficient, Duckbill Weir, Oblique weir,, Turbulence Model, Volume of Fluid.

* Corresponding author

Received 17 April 2019, Revised 23 August 2019, Accepted 02 October 2019.

DOI: 10.22091/cer.2019.4259.1144

بررسی عددی جریان و ضریب دبی جریان بر روی سرریزهای نوکاردکی و مایل

در یک عرض مشخص سرریزهای نوکاردکی و مایل دارای طول مؤثر بیش تری می باشند که این مسئله می تواند بر ضریب دبی و راندمان این نوع سرریزها تأثیرگذار باشد. در این تحقیق، تلاش شد تا نقش برخی از پارامترهای هیدرولیکی و هندسی سرریزهای ذکر شده و ارتفاع آنها بر روی ضریب دبی جریان در داخل کانال با استفاده از مدل عددی فلوئنت مورد بررسی قرار گیرد و نتایج حاصل از این مدل با نتایج مدل Flow-3D و اطلاعات آزمایشگاهی مقایسه شود. فشار، سرعت و سطح آزاد جریان با استفاده از مدل آشفتگی k-ε RNG و مدل چند فازی (VOF) با حل عددی تعیین گردیدند. معیار نرمال میانگین مجذور مربعات خطا (RMSE) مدل فلوئنت در شبیه سازی ضریب دبی جریان ۰/۰۵۶۵ به دست آمد که نشان دهنده دقت بالای این مدل می باشد. بررسی نتایج حاصله نشان می دهد که در هر دو سرریز، ضریب دبی با افزایش انرژی بالادست سرریز (H_d)، کاهش می یابد. حداکثر مقدار ضریب دبی در محدوده $0.35 \leq (H_d/P)$ در هر دو سرریز نوکاردکی و مایل مشاهده شد. نتایج حاکی از آن بود که سرریزهای مایل در مقایسه با سرریزهای نوکاردکی دارای ضریب دبی بیشتری بوده (۰/۵) برابر ضریب دبی سرریزهای نوکاردکی) و در نتیجه از ظرفیت دبی عبوری (افزایش ۳۳ درصدی) بالاتری نسبت به سرریزهای نوکاردکی برخوردار می باشند.

واژگان کلیدی: ضریب دبی، سرریز نوکاردکی، سرریز مایل، جزء حجم سیال، مدل آشفتگی.

سمیه امامی

دانشجوی دکتری سازه های آبی،
دانشکده کشاورزی، دانشگاه
تبریز.

پست الکترونیک:

somayhemami70@gmail.com

جواد پارسا*

استادیار سازه های آبی، دانشکده
کشاورزی، دانشگاه تبریز.

پست الکترونیک:

jparsa@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

تاج سرریز با حرکت پرتابی و بدون تماس با صفحه پایین دست ریزش می کند. سرریزهای لبه تیز در شرایط اندازه گیری دبی با دقت بالا کاربرد دارند [۱]. در بین انواع سرریزها، سرریز مثلثی بیشترین دقت را دارا می باشد و معمولاً با زاویه رأس ۹۰ درجه ساخته می شوند. در دبی های نسبتاً بالا معمولاً از سرریزهای مستطیلی استفاده می شود. همچنین سرریزهای دایره ای بهترین مقطع هیدرولیکی را در بین انواع سرریزها دارند [۲]. همانطور که اشاره شد سرریزها علاوه بر اندازه گیری جریان برای کنترل سطح آب در بالادست برای آبیگری از کانالها نیز مورد استفاده قرار می گیرند. بنابراین در صورت طراحی و در نتیجه عملکرد ضعیف سرریز در زمان های سیلابی در قسمت بالادست سرریز، سطح آب تغییرات قابل ملاحظه ای

سرریزها سازه های هیدرولیکی هستند که برای اندازه گیری دبی جریان و کنترل سطح آب در کانال های آبیاری مورد استفاده قرار می گیرند. افزایش دقت اندازه گیری و همچنین سهولت بهره برداری در شرایط مختلف، سبب تنوع طراحی سرریزها شده است. در سرریزهای موسوم به سرریز لبه تیز طول تاج در امتداد جریان، کمتر یا مساوی دو میلی متر بوده و جریان از روی

* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۸، بازنگری: ۱۳۹۸/۰۶/۰۱، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۷/۱۰
(DOI): 10.22091/cer.2019.4259.1144 شناسه دیجیتال

هندسی سرریز لبه‌تیز نوکاردکی بر روی ضریب دبی جریان با متغیرهای ارتفاع سرریز، زاویه دیواره سرریز با محور مقطع کانال، انرژی کل بالای سرریز و دبی، نشان داد در این سرریزها با افزایش انرژی کل بالای سرریز و در نتیجه افزایش دبی، ضریب دبی کاهش بیشتری نسبت به سرریز مستطیلی ساده دارد [۵].

بررسی الگوی جریان بر روی سرریز نوکاردکی توسط مدل عددی Flow-3D و به صورت سه‌بعدی نشان داد که مقادیر آزمایشگاهی و استخراج از مدل ریاضی، دارای همبستگی نسبتاً خوبی می‌باشند [۶]. شبیه‌سازی سه‌بعدی پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای منقاری با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت^۳ حاکی از آن بود که در کلیه سرریزهای منقاری با زاویه‌های رأس مختلف، ضریب دبی با افزایش H/P (نسبت بار هیدرولیکی به ارتفاع سرریز) افزایش یافته و سپس به دلیل تداخل تیغه‌های ریزشی، ضریب دبی کاهش می‌یابد [۷]. محققان در سال ۲۰۱۶، اقدام به بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان بر روی سرریزهایی با مقطع افقی مثلثی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D نموده و نتایج حاصل را با نتایج سرریز خطی مقایسه کردند. ملاحظه گردید که با افزایش زاویه رأس سرریز از ۳۰ درجه تا ۱۸۰ درجه، به علت کاهش تداخل جریان عبوری با تیغه‌های ریزشی جانبی، اغتشاشات و گردابه‌های جریان کمتر شده و از برآمدگی سطح جریان در نیمرخ طولی و اختلاف عرضی جریان در نیمرخ عرضی کاسته می‌شود [۸]. طول دماغه و زاویه دیواره سرریز با امتداد جریان بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای به روش CFD حاکی از آن است که با افزایش میزان زاویه سرریز در امتداد جریان (α)، ضریب دبی افزایش می‌یابد [۹]. تیگی^۴ در سال ۲۰۱۱، آزمایش‌هایی بر روی سرریزهای مایل با زاویه‌های ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه و برای سه ارتفاع ۴، ۸

خواهد داشت که باعث اختلال و کاهش دقت آبیگری از کانال در آبیگرهای بالادست می‌شود. از لحاظ مهندسی تغییرات حداقل سطح آب در زمان‌های سیلابی برای قسمت بالادست سرریز مطلوب می‌باشد.

سرریزهای چندوجهی^۱، به دلیل افزایش طول مؤثر آن در طول ثابتی از دیواره کانال، دارای دبی عبوری ۱/۵ تا ۴/۵ برابر سرریزهای معمولی می‌باشند و طراحان سازه‌های آبی آزادی عمل بیشتری برای طراحی این نوع سرریزها دارند [۳]. سرریزهای نوکاردکی و مایل از جمله سرریزهای چندوجهی می‌باشند و با توجه به طراحی ساده و دارا بودن طول مؤثر بیشتر نسبت به سرریزهای معمول، دبی بیشتری در مقایسه با سرریزهای معمول برای کانال با عرض و ارتفاع مشابه را از خود عبور می‌دهند (شکل ۱).

قابلیت بالای سرریزهای نوکاردکی و مایل در هوادهی جریان، طول مؤثر بیشتر و همچنین کارایی بالایی این سرریزها در بارهای آبی کم، از مزیت‌های اصلی استفاده از این سرریزها می‌باشد.

امروزه نرم‌افزارهای CFD^۲، برای بررسی شرایط جریان سیالات در بین محققین، جایگاه ویژه‌ای به خود اختصاص داده‌اند. استفاده آسان، هزینه کم و مهم‌تر از همه، سرعت بالای CFD در رسیدن به پاسخ از دلایل گرایش به این روش تحقیقی می‌باشد. روش‌های عددی در مقایسه با مطالعات آزمایشگاهی دارای مزیت‌های قابل توجهی می‌باشند. با استفاده از روش‌های عددی، امکان بررسی مشخصات جریان در محدوده وسیعی از پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بدون انجام آزمایش‌هایی با هزینه‌های بالا و در زمان کمتر برای محققین فراهم می‌شود.

در طول سالین اخیر، محققین زیادی برای به‌دست آوردن ضریب دبی سرریزهای چندوجهی تلاش نموده و روابط زیادی را ارائه داده‌اند. بررسی آزمایشگاهی اثر ابعاد

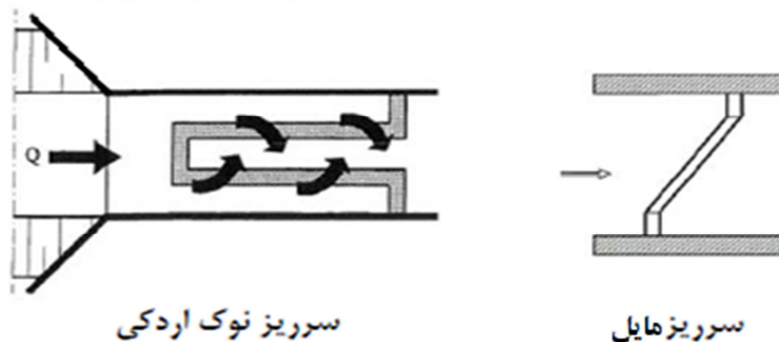
^۳- Fluent

^۴- Tingey

^۱- Labyrinth Weir

^۲- Computational fluid dynamics

ضریب دبی را برای سرریزهای مایل و در چهار ارتفاع ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتی متر به دست آوردند که نتایج نشان‌دهنده کاهش ضریب دبی با افزایش نسبت H/P می‌باشد و ضریب دبی برای سرریزهای با ارتفاع بیشتر مقدار بالاتری را دارا بوده است [۱۱].



شکل ۱- نمایش سرریزهای مایل و نوک‌اردکی در پلان [۴]

تحقیقات انجام شده روی سرریزهای نوک‌اردکی و مایل نشان می‌دهد که تاکنون شرایط جریان بالادست و ابعاد سرریز بیشتر به صورت آزمایشگاهی مورد توجه قرار گرفته است. از آنجاکه هندسه این نوع سرریزها پیچیدگی مسئله را برای مقاصد تئوری و عملی به دنبال خواهد داشت، لذا بررسی هیدرولیک جریان بر روی این سرریزها حائز اهمیت است. به همین منظور، هدف از پژوهش حاضر، بررسی عددی شرایط هیدرولیکی جریان در سرریزهای نوک‌اردکی و مایل است. در این مطالعه، تمام پارامترهای تأثیرگذار بر روی ضریب دبی سرریزهای مذکور، شامل انرژی بالادست سرریز، ارتفاع سرریز و بار آبی روی سرریز با مدل آزمایشگاهی مقایسه و در حالت‌های مختلف بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر، از داده‌های ۲۱ مدل سرریز نوک‌اردکی و مایل بر طبق مطالعه آزمایشگاهی صورت گرفته توسط نیک‌پیک و همکاران [۵]، استفاده شده است. این مدل‌ها در ۷ گروه دسته‌بندی شده‌اند. در این پژوهش، ابتدا مدل‌ها توسط نرم‌افزار پیش‌پردازنده

و ۱۲ اینچ انجام داد و رابطه ضریب دبی با ارتفاع انرژی کل بالادست سرریز را به صورت نمودار بیان کرد. نتایج نشان داد در سرریزهای مایل با زاویه ۴۵ درجه و کوچک‌تر از آن، با افزایش مقدار ارتفاع انرژی بالادست سرریز، ضریب دبی کاهش می‌یابد [۱۰]. محققان در سال ۲۰۰۵،

در سال ۲۰۱۵ رضایی و همکاران، به مطالعه آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای مستطیلی پرداختند. در این پژوهش، رابطه دبی جریان و ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با استفاده از تحلیل ابعادی استخراج و برای تعیین ضریب‌های ثابت رابطه‌ها از مدل فیزیکی استفاده شد. نتایج نشان داد رابطه‌ای که از اکثر پارامترهای مؤثر استفاده شده نتایج دقیق‌تری پیش‌بینی می‌کند و برای طراحی قابل پیشنهاد است [۱۲]. پژوهشگران در سال ۲۰۱۲، آزمایشاتی بر روی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با زاویه کناری مختلف انجام دادند. براساس نتایج، ضریب دبی واحد عرض سرریز در ابتدا با افزایش ارتفاع آب به مقدار حداکثر خود می‌رسد و سپس به سرعت کاهش می‌یابد [۱۳]. آنیس^۵، ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای تک‌سیکله با پلان دوزنقه‌ای را تعیین نمودند. برای نیل به این هدف، ۱۵ مدل مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد استفاده از زاویه رأس ۲۰ درجه در بین زاویه‌های رأس به کار رفته در سرریزها، بهترین ضریب همبستگی را دارا می‌باشد [۱۴]. بررسی

5- Anis

در این پژوهش، شرایط جریان آب در یک کانال با طول بالادست سرریز ۶ متر و طول کانال پایین دست سرریزهای نوکاردکی و مایل ۶ متر، عرض ۵۰ و ارتفاع ۵۰ سانتی متر به صورت عددی بررسی شده است. جریان بر روی سرریز نوکاردکی و مایل با استفاده از مدل های فلوئنت و Flow-3D در حالت سه بعدی به روش حجم محدود^۹ شبیه سازی شد. شبیه سازی جریان در سرریزهای نوکاردکی و مایل با حل هم زمان معادلات پیوستگی و مومنتم با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG^{۱۰}، روش های بررسی جریان چندفازی (روش حجم سیال^{۱۱})، روش حل عددی حجم محدود، روش گسسته سازی جهت مند مرتبه دوم، برای تحلیل جریان در کنار دیواره از مدل تابع دیواره نامتقارن و تابع دیواره استاندارد و الگوریتم حل هم زمان سرعت و فشار (PISO) انجام شد. معادله حاکم بر جریان سرریزهای نوکاردکی و مایل، معادلات پیوستگی و مومنتم ناویر-استوکس می باشند. معادله پیوستگی رینولدز به صورت زیر می باشد:

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

در این معادله، u مؤلفه سرعت، ρ چگالی و \dot{u}_j تنش رینولدزی می باشد.

جهت مدل سازی آشفتگی، سه مدل آشفتگی $k-\epsilon$ حالت Realizable و Standard مورد استفاده قرار گرفت که در نهایت مدل آشفتگی $k-\epsilon$ حالت RNG با درصد خطای کمتر (۶/۷٪) و ارائه نتایج دقیق تر جهت مدل سازی انتخاب شد. معادلات حاکم در این مدل به صورت معادلات (۲) و (۳) بیان می شود [۱۵]. در این معادلات، α_k عکس عدد اغتشاش پرانتل برای k ، μ_{eff} ویسکوزیته گردابه ای مؤثر، G_b و G_k عبارت اند از چشمه معادله ϵ و k که به ترتیب اثر شناوری و گرادیان سرعت

گمبیت^۶ ترسیم گردیدند. این نرم افزار، رایج ترین نرم افزار تولید شبکه جریان در CFD می باشد. برای شبکه بندی بازه محاسباتی از المان های مربعی QUAD-MAP استفاده گردید. با توجه به اینکه توصیه می شود در نواحی با گرادیان بالا المان بندی ریزتری به کار برده شود، بنابراین در محل سرریز از شبکه بندی کوچک تر استفاده گردید. برای استقلال داشتن شبکه ها و کنترل عدم تأثیر اندازه سلول ها بر نتایج حاصل از حل عددی، برای تمامی مدل ها از شبکه های یکسان با تعداد تقریبی ۱۹۹۰۶ المان محاسباتی استفاده شد. طرح شبکه بندی یک نمونه سرریز نوکاردکی در شکل ۲، آورده شده است.

در ورودی مدل عددی سرریز از شرط مرزی فشار ورودی (سطح a) استفاده شد. در استفاده از شرط مرزی سرعت ورودی^۷، دبی ورودی به کانال به صورت ثابت باقی می ماند، اما به دلیل اینکه این شرط مرزی همانند یک روزنه عمل می کند، در ابتدای جریان ورودی انحنا سطح آب به وجود می آورد که این خود بر پروفیل سطح آب بر روی سرریز تأثیرگذار می باشد. به همین دلیل از شرط مرزی فشار ورودی^۸ برای جریان به کانال، با وجود اینکه در دبی ورودی کمی تغییر به وجود می آید، استفاده گردید. فشار ورودی با مشخص بودن عمق ورودی جریان به صورت هیدرواستاتیک تعریف شد (همچنین قابل ذکر است هر دو شرط مرزی ورودی سرعت و فشار مورد آزمایش قرار گرفت که شرط مرزی فشار ورودی بر حسب دقت بهترین شرایط مرزی معرفی و انتخاب شد). فشار خروجی هوا برای سطح آزاد کانال (سطح b)، که مقدار آن نیز صفر می باشد، فشار خروجی صفر برای سطح c، شرط مرزی دیواره (Wall) برای سطح d و شرط مرزی سرعت ورودی جهت هوادهی به سرریز (سطح e) استفاده شد (شکل ۳).

⁹ - Finite volume method

¹⁰ - Re-normalization group model

¹¹ - Volume of fluid (VOF)

⁶ - Gambit

⁷ - Velocity Inlet

⁸ - Pressure Inlet

$$R_\varepsilon = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0}) \varepsilon^2}{1 + \beta \eta^3} k \quad (3)$$

۲-۱- تحلیل ابعادی

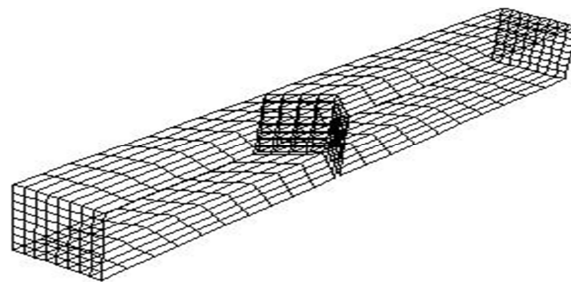
معادله یک‌بعدی جریان بر روی سرریز با فرض جریان آزاد و پرتابی از روی یک سرریز لبه‌تیز ساده به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود [۷]:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_d L_e H_d^{3/2} \quad (4)$$

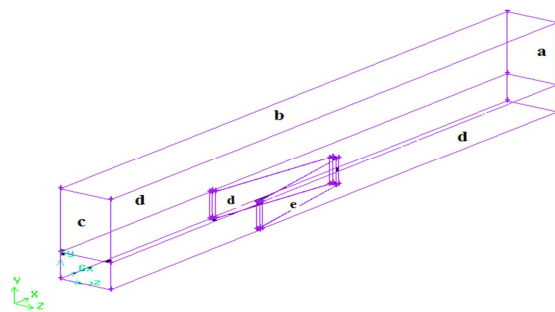
در این رابطه، Q دبی جریان عبوری، C_d ضریب دبی جریان، g شتاب ثقل، H_d انرژی کل بالادست لبه سرریز و L_e طول مؤثر سرریز می‌باشد.

میانگین را در معادله اعمال می‌کنند، ρ چگالی، u_i مؤلفه سرعت در جهت x_i ، ε نرخ استهلاک انرژی، $C_{1\varepsilon}$ ، $C_{2\varepsilon}$ و $C_{3\varepsilon}$ مقادیر ثابت، S_ε ترم اضافی است که در صورت نیاز توسط کاربر تعریف می‌شود، C_μ یک مقدار ثابت بدون بعد برابر با 0.09 ، η نرخ کرنش متوسط و β ضریب ثابت برابر با 0.12 می‌باشند.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon u_i) = \\ \frac{\partial}{\partial x_j}(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) + \\ C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \end{aligned} \quad (2)$$



شکل ۲- شبکه‌بندی سرریز در نرم‌افزار گمبیت



شکل ۳- تصویر شماتیک از شرایط مرزی تعریف شده برای هر دو مدل (سرریز نوک اردکی و مایل)

با توجه به شکل ۳ و رابطه (۵)، f نمایانگر یک تابع، y عمق آب، α زاویه سرریز، V سرعت جریان در بالادست سرریز، μ لزوجت دینامیکی سیال، σ کشش سطحی، ρ جرم واحد سیال، Re عدد رینولدز، We عدد وبر و Fr عدد فرود جریان می‌باشد. در پژوهش حاضر، جریان در سرریز کانال متلاطم و تأثیر لایه مرزی ناچیز بوده و همچنین با توجه به اینکه حداقل ارتفاع آب روی

تابع جریان در سرریز نوک‌اردکی و مایل براساس خصوصیات هندسی، سینماتیکی و دینامیکی جریان به صورت معادله (۵) به دست آمد [۱۱]:

$$\begin{aligned} f\left(\frac{H_d}{P}, \frac{H_d}{L_e}, \frac{H_d}{W}, \frac{y}{P}, Re, Fr, We, \alpha\right) = 0 \quad (5) \\ C_d = f(H_d, L_e, P, W, \alpha, y, V, g, \mu, \sigma, \rho) \end{aligned}$$

$$f\left(\frac{H_d}{P}, \frac{H_d}{L_e}, \frac{H_d}{W}, \alpha\right) = 0 \quad (۶)$$

در جدول ۱ و ۲، مشخصات هندسی سرریزهای نوکاردکی و مایل آورده شده است. در شکل ۴ (الف تا ج) نیز، نمایی از سرریزهای نوکاردکی و مایل به همراه مشخصات هندسی مورد استفاده آنها نشان داده شده است.

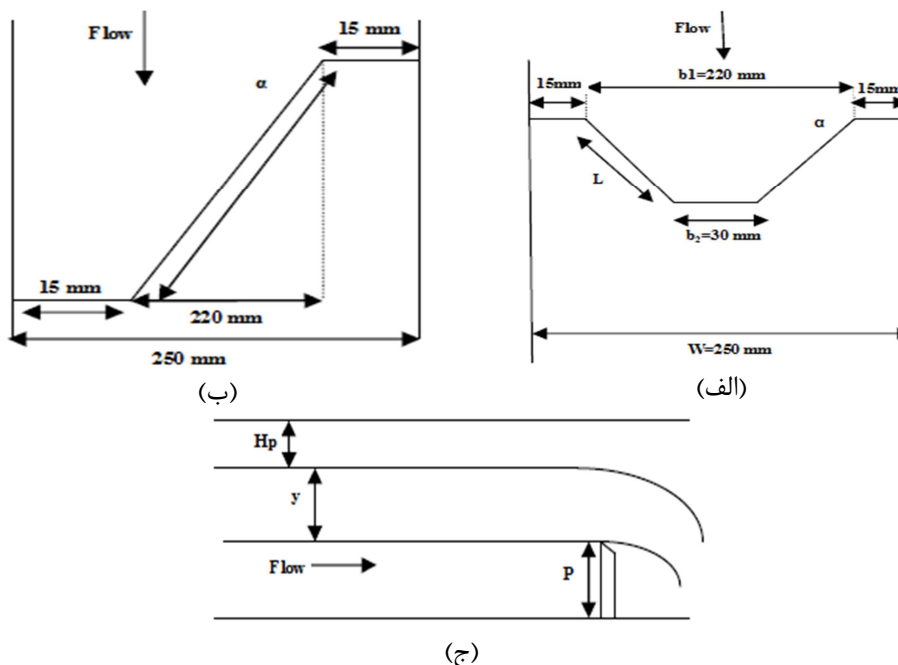
سرریز معادل ۳ سانتیمتر منظور شده است، می توان از اعداد رینولدز و وبر صرف نظر نمود. همچنین، با توجه به در نظر گرفتن تأثیر مقدار H_d به عنوان ارتفاع آب روی سرریز، از مقدار y (ارتفاع کل آب) صرف نظر شده و تأثیر پارامتر $\frac{y}{P}$ حذف می گردد. با نادیده گرفتن پارامترهای ذکر شده، رابطه ضریب دبی جریان به فرم معادله (۶)، ارائه می شود:

جدول ۱- مشخصات هندسی سرریزهای نوکاردکی

| ردیف | زاویه (α) | L (mm) | Le (mm) | Q (m^3/s) |
|------|------------------|----------|-----------|-----------------|
| ۱ | ۴۵ | ۱۳۴/۳۵ | ۳۲۸/۷ | ۷/۶-۵۲ |
| ۲ | ۶۰ | ۱۹۰ | ۴۴۰ | ۷/۶-۶۳ |
| ۳ | ۷۵ | ۳۶۷ | ۷۹۴ | ۱۲/۲-۶۲/۳ |

جدول ۲- مشخصات هندسی سرریزهای مایل

| ردیف | زاویه (α) | L (mm) | Le (mm) | Q (m^3/s) |
|------|------------------|----------|-----------|-----------------|
| ۱ | ۱۵ | ۲۲۷/۷۶ | ۲۵۷/۷۶ | ۷/۹-۶۱/۲ |
| ۲ | ۳۰ | ۲۵۴ | ۲۸۴ | ۷/۴-۵۸ |
| ۳ | ۴۵ | ۳۱۱/۱۳ | ۳۴۱/۱۳ | ۱۱/۲-۶۴ |



شکل ۴- نمایی از سرریزها (الف) سرریز نوکاردکی، (ب) سرریز مایل و (ج) مشخصات هیدرولیکی

۳- نتایج و بحث

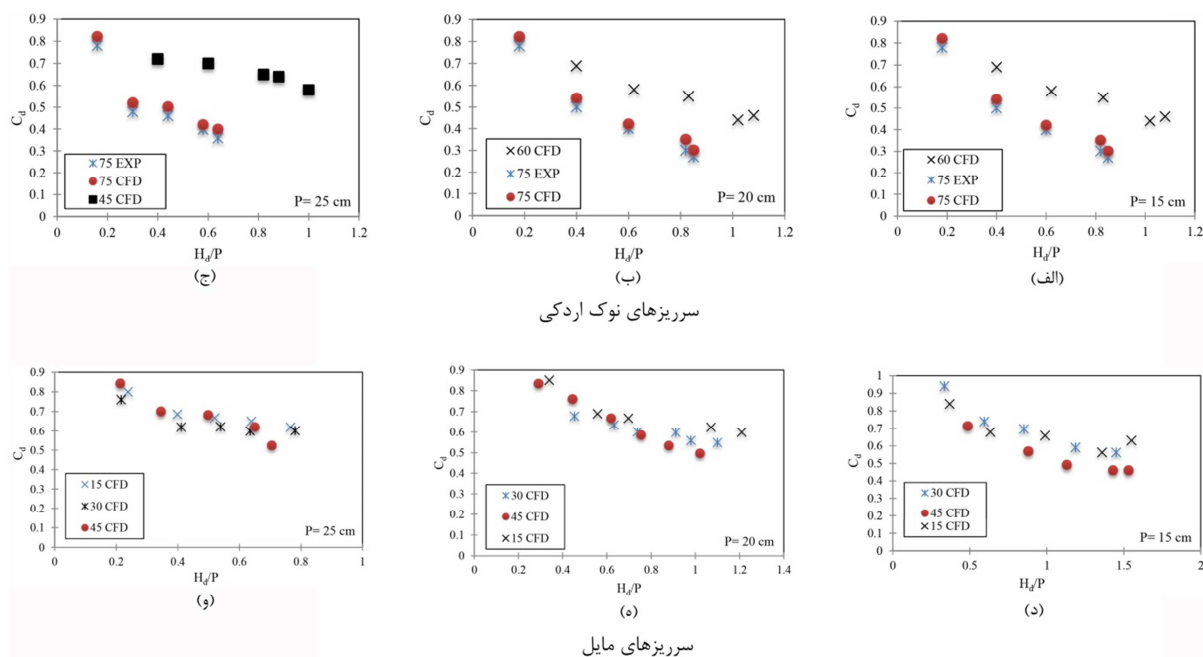
جهت صحت سنجی عملکرد نرم افزار فلونت، مدل سرریز مستطیلی هم عرض کانال با ارتفاع ۰/۳ متر در کانالی به عرض ۰/۵ متر طراحی و شبیه سازی گردید.

۳-۱- صحت سنجی مدل فلونت

آزمایشات فیزیکی می‌باشد. خطای نسبی مدل فلوئنت، در شبیه‌سازی پارامتر ضریب دبی (C_d)، بین ۰/۰۳ تا ۰/۰۸۳ در روش حجم سیال در جریان‌های زیربحرانی نسبت به مدل فیزیکی ثابت می‌باشد و مبنای ارزیابی مدل فلوئنت، مدل آزمایشگاهی است؛ لذا با کاهش مقدار عمق در مدل آزمایشگاهی، خطای برآورد عمق جریان در مدل فلوئنت بیشتر می‌شود. بنابراین همانگونه که در نمودارها نیز مشاهده می‌شود، ضریب دبی شبیه‌سازی شده توسط مدل فلوئنت، برای تمامی H_d/P ها، بیشتر از ضریب دبی در مدل فیزیکی است.

سرریز لبه تیز مورد نظر به‌ازای دبی‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. بعد از حصول اطمینان از عملکرد نرم‌افزار و روش‌های به‌کار گرفته شده در نرم‌افزار فلوئنت، به طراحی مدل سرریزهای نوک‌اردکی و مایل پرداخته شد.

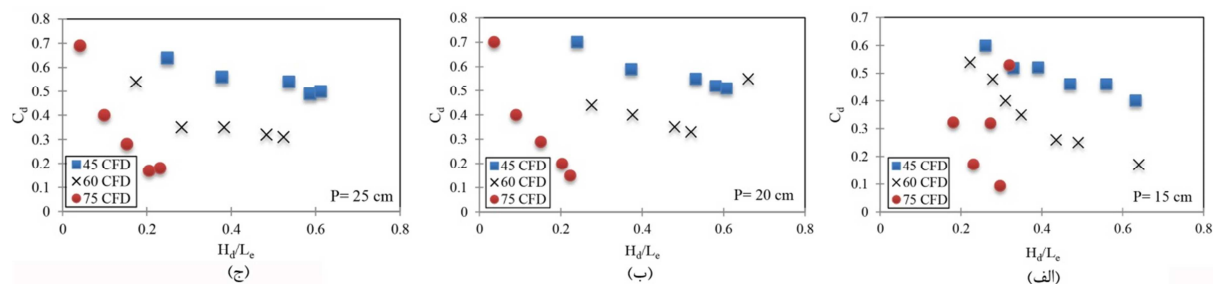
شکل ۵، تغییرات ضریب دبی (C_d) در برابر H_d/P برای ارتفاع‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر را در مدل‌سازی عددی نشان می‌دهند. با توجه به شکل ۵، مشاهده می‌شود با افزایش نسبت H_d/P ، ضریب دبی کاهش می‌یابد. دلیل این امر، کاهش تداخل جریان در دماغه سرریزها می‌باشد. این نمودار بیانگر تطابق خوبی بین نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی با مدل فلوئنت و



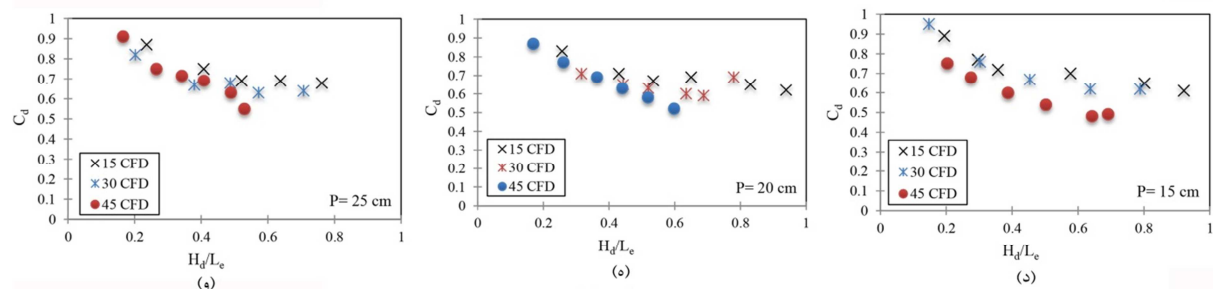
شکل ۵- مقایسه تغییرات ضریب دبی به‌ازای H_d/P های مختلف بین داده‌های آزمایشگاهی و مدل فلوئنت

می‌توان نتیجه گرفت که سرریز نوک‌اردکی با زاویه ۷۵ درجه با دارا بودن بیشترین تداخل جریان در دماغه خود، دارای کمترین و سرریز نوک‌اردکی با زاویه ۴۵ درجه دارای بیشترین مقدار ضریب دبی جریان در بین سرریزهای مورد بررسی می‌باشد. در مورد سرریزهای مایل، با کاهش زاویه این سرریزها، ضریب دبی افزایش یافته و به ضریب دبی سرریز استاندارد نزدیک‌تر می‌شود.

تغییرات ضریب دبی در برابر H_d/W و H_d/L_e برای زاویه‌های مختلف سرریز نوک‌اردکی و مایل با استفاده از مدل فلوئنت، در شکل‌های ۶ و ۷ ارائه شده است. با توجه به نمودارها مشخص می‌شود که به‌ازای افزایش نسبت‌های H_d/P ، H_d/W و H_d/L_e ، ضریب دبی کاهش می‌یابد. همان‌طور که گفته شد، کاهش تداخل جریان در دماغه سرریزهای نوک‌اردکی و مایل، سبب این امر می‌شود. همچنین با توجه به نمودارهای اشکال ۶ و ۷،

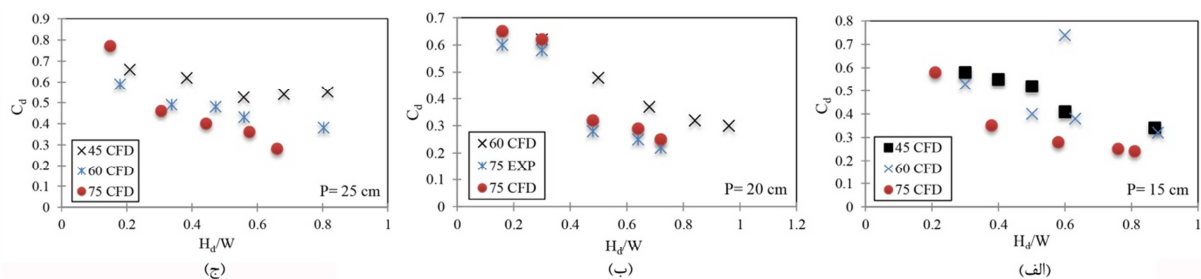


سرریزهای نوک‌اردکی

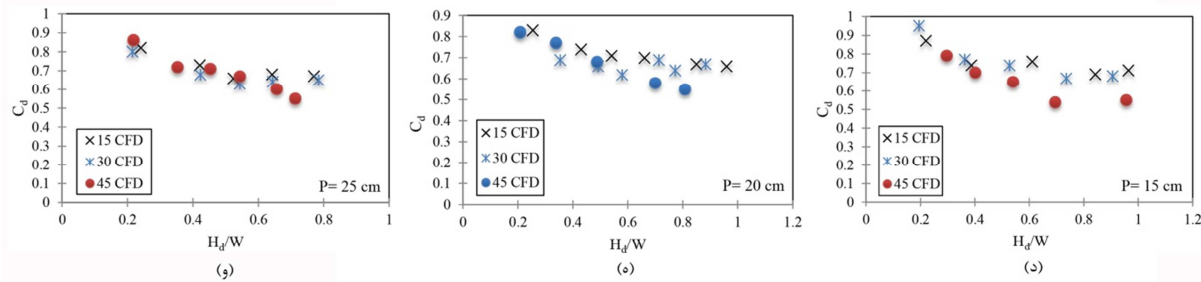


سرریزهای مایل

شکل ۶- مقایسه تغییرات ضریب دبی به‌ازای H_d/L_e های مختلف بین داده‌های آزمایشگاهی و مدل فلوئنت



سرریزهای نوک‌اردکی



سرریزهای مایل

شکل ۷- مقایسه تغییرات ضریب دبی به‌ازای H_d/W های مختلف بین داده‌های آزمایشگاهی و مدل فلوئنت

در سرریزهای مایل با زاویه ۴۵ درجه و کوچک‌تر از آن با افزایش مقدار ارتفاع انرژی بالادست سرریز، ضریب دبی کاهش می‌یابد. با توجه به شکل‌های بالا، هرچه انرژی کل بالادست سرریز افزایش یابد، ضریب دبی با شیب بیشتری کاهش می‌یابد.

همانگونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، ضریب دبی با افزایش نسبت H_d/W به‌ازای زاویه‌های مختلف سرریزهای نوک‌اردکی و مایل، دارای روند کاهشی (شیب کاهشی) می‌باشد. با توجه به اینکه در کلیه مدل‌های مورد بررسی، عرض کانال ثابت (۰/۲۵ متر) در نظر گرفته شده است، بنابراین مهم‌ترین پارامتر تأثیرگذار در روند کاهشی ضریب دبی، پارامتر انرژی کل بالادست سرریزها می‌باشد.

سرریز نوک‌اردکی و در محدوده $H/P < 0.5$ سرریز مایل برتر است.

نتایج آزمایش‌های محققان نیز نشان داد در سرریزهای مایل با زاویه کوچک‌تر از ۴۵ درجه با افزایش مقدار ارتفاع انرژی بالادست سرریز، ضریب دبی کاهش یافته است و در محدوده $0.185-0.25$ قرار می‌گیرد [۱۰]. همچنین نیک‌پیک و همکاران، کمترین مقدار ضریب دبی را به ترتیب برای سرریزهای نوک‌اردکی در حدود 0.3 و برای سرریزهای مایل با زاویه ۴۵ درجه، 0.54 به دست آوردند [۵]. نتایج هر دو مطالعه با نتایج حاصله از پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، هدف اصلی، بررسی هیدرولیک جریان بر روی سرریزهای نوک‌اردکی و مایل با استفاده از مدل عددی فلوئنت و در نهایت مقایسه نتایج حاصله با نرم‌افزار Flow-3D بود. جهت بررسی عددی از روش RNG k-ε برای شبیه‌سازی آشفتگی جریان و مدل حجم سیال برای شبیه‌سازی جریان چندفازی استفاده شد. نتایج تحقیق حاضر را می‌توان به صورت زیر ارائه نمود:

۱- مقایسه نتایج حاصل از مدل فیزیکی، مدل فلوئنت و مدل Flow-3D، بیانگر تطابق و برتری مناسب مدل فلوئنت در شبیه‌سازی عددی ضریب دبی بین نتایج بود. بنابراین می‌توان مدل فلوئنت را به دلیل هزینه و زمان کم‌تر و سرعت بالای اجرا در مقایسه با مدل Flow-3D، جایگزین مناسبی برای مدل فیزیکی (مطالعات آزمایشگاهی) معرفی نمود.

۲- خطای نسبی مدل فلوئنت در شبیه‌سازی ضریب دبی در مقایسه با مدل Flow-3D بین 0.3% تا 3.8% می‌باشد.

۳- ضریب دبی در سرریزهای مایل در مواقعی که ارتفاع آب روی سرریز کم باشد، بیشتر از سرریز

۳-۲- مقایسه نتایج مدل فلوئنت و مدل Flow-3D در شبیه‌سازی هیدرولیک جریان بر روی سرریزهای نوک‌اردکی و مایل

جهت بررسی کارایی و عملکرد دو مدل فلوئنت و Flow-3D در شبیه‌سازی عددی هیدرولیک جریان بر روی سرریزهای نوک‌اردکی و مایل، در جدول ۳، ریشه میانگین خطای نرمال شده^{۱۲} مدل‌های عددی مذکور به‌زای زاویه‌ها و مدل‌های آشفتگی مختلف برای هر دو سرریز مورد مطالعه در تحقیق حاضر ارائه شده است. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی مدل فلوئنت (به‌صورت سه‌بعدی) در مقایسه با مدل Flow-3D، اختلاف محسوسی با نتایج آزمایشگاهی (مدل فیزیکی)، نشان نداد و تطابق مناسبی بین نتایج حاصل از مدل عددی فلوئنت و آزمایش‌های فیزیکی مشاهده شد.

با توجه به آنکه تاکنون مطالعات موثقی در مورد مدل‌سازی عددی هیدرولیک جریان در سرریزهای نوک‌اردکی و مایل صورت نگرفته است، لذا نتایج حاصل از پژوهش حاضر با نتایج به‌دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی مراجع [۵]، [۱۰]، [۱۱] و [۱۶]، که مطالعاتی بر روی ضریب دبی سرریزهای مایل و نوک‌اردکی انجام دادند، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مطالعه برقی و همکاران، حاکی از آن بود که در سرریزهای با زاویه ۴۵ درجه و کوچک‌تر از آن، با افزایش نسبت H/P ، ضریب دبی کاهش یافته و به مقدار 0.6 می‌رسد [۱۶]. همچنین نوری و چلمیران، ضریب دبی سرریزهای مایل را در چهار ارتفاع ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ در محدوده $0.09-0.5$ گزارش کردند [۱۱].

نتایج مقایسه‌ها نشان داد، تفاوت کارایی سرریزهای نوک‌اردکی و مایل در نسبت‌های متفاوت H/P ، ناچیز بوده و روند معنی‌داری ندارد. در محدوده $0.4 < H/P < 0.2$

¹²-Normalized Root Mean Square Error

نوکاردکی (به دلیل تداخل جریان در دماغه سرریز) می‌باشد. همچنین با افزایش بار آبی روی این سرریز، ضریب دبی آن روند کاهشی کمتری در مقایسه با سرریز نوکاردکی می‌یابد.

جدول ۳- NRMSE مدل فلونت و Flow-3D در حالت‌های مختلف

| معیار نرمال میانگین مجذور مربعات خطا (NRMSE) | | پارامترهای بی‌بعد | | | زاویه (α) | | مدل به کار رفته |
|--|---------|-------------------|-----------|-----------|--------------------|-----------------|-------------------------|
| | | H_d/W | H_d/L_e | H_d/P | سرریز مایل | سرریز نوک اردکی | |
| Fluent | Flow-3D | | | | | | |
| ۰/۰۳۱۴ | ۰/۰۴۵ | ۰/۱۸-۱ | ۰/۰۳-۰/۸ | ۰/۱۶-۱/۵۳ | ۱۵-۴۵ | ۴۵-۷۵ | 3D, k-ε, RNG, VOF, PISO |
| ۰/۰۱۹۵ | ۰/۰۲۴۳ | ۰/۱۸-۱ | ۰/۰۳-۰/۸ | ۰/۱۶-۱/۵۳ | ۱۵-۴۵ | ۴۵-۷۵ | 3D, k-ε, RNG, VOF, PISO |
| ۰/۰۲۴۸ | ۰/۰۲۱ | ۰/۱۸-۱ | ۰/۰۳-۰/۸ | ۰/۱۶-۱/۵۳ | ۱۵-۴۵ | ۴۵-۷۵ | 3D, k-ε, RNG, VOF, PISO |
| ۰/۰۵۶۱ | ۰/۰۶۴۲ | ۰/۱۸-۱ | ۰/۰۳-۰/۸ | ۰/۱۶-۱/۵۳ | ۱۵-۴۵ | ۴۵-۷۵ | 3D, k-ε, RNG, VOF, PISO |
| ۰/۰۴۲ | ۰/۰۵۱ | ۰/۱۸-۱ | ۰/۰۳-۰/۸ | ۰/۱۶-۱/۵۳ | ۱۵-۴۵ | ۴۵-۷۵ | 3D, k-ε, RNG, VOF, PISO |

تداخل جریان در دماغه خود، دارای کمترین و سرریزهای نوکاردکی و مایل به ترتیب با زاویه ۴۵ و ۱۵ درجه دارای بیشترین مقدار ضریب دبی جریان در بین سرریزهای مورد بررسی می‌باشد.

۴- در محدوده $H_d/P < 0/35$ ضریب دبی در هر دو سرریز نوکاردکی و مایل، حداکثر مقدار خود را دارد.

۵- سرریزهای نوکاردکی و مایل به ترتیب با زاویه‌های ۷۵ و ۴۵ درجه با دارا بودن بیشترین

مراجع

- [1] Bos, M. G. (1988). "Discharge measurement structures", *International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI)*.
- [2] Beyrami, M.K. (2009). "Water Transfer Structures", *Isfahan University of Technology Publications*.
- [3] BeihaghiKondari, A., Zeiae, N. A., khodashenas, R. S., & Zahedi, H. (2012). "Simulation lateral weirs in rectangular canal using Fluent software", *9th international civil engineering congress*, 19-21 Ordibehesht, Esfahan University.
- [4] Zahiri, A. (2014). "Extracting the relationship between the discharge coefficient in arc weirs by genetic planning", *Irrigation and drainage*, 9(2), 232-244.
- [5] Nikpeik, P., Kashefipour, S. M., & Mpltaji, A. (2011). "Investigation on the effect of duckbill weir geometry on discharge coefficient", *Chaloos Islamic University Pub. Chaloos, Iran*, 39(1), 1-10.
- [6] Saiedi, M., Shaghaghian, M. R., & Zayeri, M. R. (2014). "Investigation of flow pattern on duckbill weir using Flow-3D Model", *Second national conference on applied research in civil, architecture and urban management*.
- [7] Emami, S. (2016). "Numerical investigation of geometric parameters effect of the duckbill weir on the discharge coefficient", *M.Sc. Thesis of Hydraulic Structures*, Department of Water Engineering, University of Tabriz.
- [8] Haghiabi, H., Abbaspour, B., Maleki, A., & TorabiPoudeh, H. (2015). "Simulation of flow pattern on horizontal triangular weirs and comparison with linear weirs using Flow-3D model", *Journal of Water Engineering*, 9, 125-137.
- [9] Azhdari-Moghaddam, M., Amanian, N. A., & JafariNadoshan, A. (2011). "Investigation the length and angle of the head of the trapezoid labyrinth weir using CGD", *6th national civil engineering congress*, 6-7 May, Semnan University.

- [10] Tingey, S. E. (2011). "Discharge coefficient of oblique weirs", *M. Sc. Thesis in Mechanical Engineering*, Utah State University, USA, 51 p.
- [11] Noori, B. M. A., & Chilmeran, T. A. H. (2005). "Characteristics of flow over normal and oblique weirs with semicircular crests", *Al-Rafidain Engineering Journal*, 13(1), 49-61.
- [12] Rezaee, M., Emadi, A., & Aqajani Mazandarani, Q. (2015). "Experimental Study of Rectangular Labyrinth Weir", *Journal of Water and Soil*, 29(6), 1438-1446.
- [13] Khode B. V., Tembhurkar A.R., Porey P. D., & Ingle R. N. (2012). "Experimental studies on flow over labyrinth weir", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 10, (ASCE) IR.21p.
- [14] Anees, K. I., Riyadh, A. I. A., LiyodH, C., Chua, A., & Subrat, D. (2016). "Determination of discharge coefficient for flow over one cycle compound trapezoidal plan form labyrinth weir", *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(4), 314-328.
- [15] Hirt, C. W., & Nichols, B. D. (1981). "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries", *Journal of Computational Physics*, 39, 201-225.
- [16] Borghei, S. M., Vatannia, Z., Ghodsian, M., & Jalili Ghazizadeh, M. R. (2003). "Oblique rectangular sharp-crested weir", *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water and Maritime Engineering*, 156(2), 185-191.