

تأثیر پارامترهای هندسی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در سرریزهای مایل

رضا نوروزی^۱، هادی ارونقی^۲، فرزین سلماسی^۳، داود فرسادی زاده^۴، محمد علی قربانی^۵

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۱/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۳

مقاله پژوهشی برگرفته از رساله دکترا

چکیده

سرریزها از جمله سازه‌های هیدرولیکی مهم برای کنترل جریان، تنظیم سطح آب در بالادست و اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌های شبکه‌های آبیاری و رودخانه‌ها می‌باشند. سرریزهای مایل در یک عرض مشخص دارای طول مؤثر بیشتری در مقایسه با سرریزهای معمول می‌باشند که این مسئله می‌تواند بر ضریب دبی و راندمان این نوع سرریزها تأثیرگذار باشد. در تحقیق حاضر تأثیر پارامترهای هندسی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در سرریزهای مایل با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلوئنت به صورت سه بعدی مورد بررسی و تحقیق قرار گرفته است. شبیه‌سازی عددی توسط نتایج آزمایشگاهی صحت‌سنجی گردید. ارتفاع سرریز (P)، زاویه سرریز با دیواره کانال (α)، ارتفاع آب بالای تاج سرریز (h) و طول مؤثر تاج سرریز (L_e) مورد بررسی قرار گرفت. عملکرد مدل رگرسیونی خطی در کاربرد رابطه ضریب دبی سرریزهای مایل بررسی شد. نتایج نشان داد که رابطه رگرسیونی بدست آمده در تحقیق حاضر تطابق بسیار خوبی با نتایج مدل عددی دارد. همچنین نتایج مدل عددی با نتایج سایر محققین مقایسه گردید. در سرریزهای مایل در طول‌های مؤثر مختلف با افزایش H/P ، در یک H/P ثابت، با افزایش طول مؤثر تاج سرریز، ضریب دبی کاهش و دبی جریان عبوری افزایش می‌یابد. در ضمن افزایش ارتفاع سرریز، موجب افزایش دبی جریان عبوری می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سرریز مورب، ضریب دبی، مدل عددی، انسیس فلوئنت، دبی جریان عبوری

^۱ دانشجوی دکترای سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۷۰۸۴۳۳۸ پست الکترونیکی: Rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir

^۲ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۴۱۹۵۰۸۵ پست الکترونیکی: Arvanaghi.hadi@gmail.com (مسئول مکاتبه)

^۳ دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۳۱۷۸۳۳۲ پست الکترونیکی: Salmasi@tabrizu.ac.ir

^۴ استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۳۱۳۵۸۰۱ پست الکترونیکی: Farsadi@tabrizu.ac.ir

^۵ استاد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، تلفن تماس: ۰۹۱۴۴۱۴۰۳۸۱ پست الکترونیکی: ghorbani@tabrizu.ac.ir



مقدمه

سازه‌های هیدرولیکی زیادی برای تنظیم و انتقال آب طراحی و ساخته شده‌اند. یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند (بابایی و همکاران، ۱۳۹۸). سرریزها از جمله سازه‌های هیدرولیکی مهم برای کنترل جریان، تنظیم سطح آب در بالادست و اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌های شبکه‌های آبیاری و رودخانه‌ها می‌باشند (Kumar et al., 2019). در سرریزهای مستقیم با اصلاح یک یا ترکیبی از سه عامل ضریب‌دبی، طول موثر تاج سرریز و ارتفاع آب بالادست می‌توان دبی جریان عبوری را تغییر داد. در سرریزهای مستقیم محل احداث سرریز باید عریض شود تا طول موثر افزایش یابد. در بسیاری از موارد محدوده قابل دسترسی برای افزایش پهنای سرریز موجود نمی‌باشد (Norouzi et al., 2020). در همین راستا از راه کارهای موثر برای افزایش طول تاج سرریز در یک عرض معین، استفاده از سرریزهای با پلان غیرخطی 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 جریان سیلاب می‌گردد (Crookston and Tullis, 2012).

اولین مطالعات در خصوص ضوابط طراحی و کارکرد هیدرولیکی سرریزهای چند وجهی توسط Taylor (1968) و Hay and Taylor (1970) روی مدل‌های با پلان هندسی مثلثی، مستطیلی و دوزنقه‌ای با شکل تاج لبه‌تیز صورت پذیرفت.

Kumar et al. (2011) سرریزهای با پلان منحنی را بررسی کردند. این سرریزها می‌توانند به راحتی و با دقت بالا به عنوان یک وسیله اندازه‌گیری استفاده شوند. آنها معادله رایج برای محاسبه ضریب‌دبی (C_d) را به دست آوردند که برای محاسبه C_d برای تمامی مقادیر در محدوده مشخص قابل استفاده می‌باشد. به خاطر ظرفیت تخلیه بالای این نوع سرریزها نیاز به ارتفاع آزاد در کانال‌ها کاهش می‌یابد، در نتیجه در این بخش کانال

اقتصادی‌تر طراحی می‌شود. همچنین به خاطر شکل هندسی ساده طراحی، ساخت و نصب آن حتی در کانال‌های موجود بسیار آسان است. سرریز منحنی با زاویه مرکزی ۹۰ درجه، دارای شکل پلان بهینه می‌باشد. آنها اظهار داشتند که با استفاده از سرریز منحنی با حداقل پیچیدگی در طراحی و نصب شاهد افزایش قابل توجهی در ضریب‌دبی خواهیم بود.

(Arvanaghi and Mahtabi, 2014) جریان بر

روی سرریز لبه‌تیز مایل^۱ را به صورت دو بعدی با استفاده از نرم‌افزار فلونت شبیه‌سازی نمودند که نتایج آنها تطابق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت. آنها به این نتیجه رسیدند که با مایل کردن سرریز، ضریب‌دبی سرریز نیز افزایش می‌یابد و نیز این نوع سرریزها برای دبی‌های زیاد مناسب‌تر هستند.

نیک‌پیک و کاشفی‌پور (۱۳۹۵) به بررسی تاثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای پلان مثلثی و مایل پرداختند. آنها ضریب دبی برای سرریزهای پلان مثلثی و مایل را برای سه زاویه مختلف و در سه ارتفاع تعیین و نتایج به دست آمده را با ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده را مورد بررسی قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که سرریزهای پلان مثلثی و مایل فقط برای ارتفاع آب کم در بالادست راندمان بالاتری دارند، در نتیجه می‌توانند دبی جریان بیشتری را با ارتفاع کم آب در بالادست عبور دهند.

Rezaee et al. (2016) سرریزهای کنگره‌ای را با

سرریزهای مستقیم مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد سرریزهای کنگره‌ای در مقایسه با سرریزهای مستقیم، با توجه به طول زیادشان، تغییرات ارتفاع آب بالادست نسبت به دبی در آنها کمتر است و به ارتفاع آزاد کمتری در بالادست نیاز دارند. بنابراین استفاده از آنها در شبکه‌های آبیاری مناسب‌تر است.

فرزین و همکاران (۱۳۹۷)، سرریز لبه‌تیز مستطیلی

قائم و مورب را در نرم‌افزار فلوتری دی^۲ شبیه‌سازی کردند

¹ Inclined

² Flow-3D

مدل آشفتگی، نتایج نشان داد میزان دبی عبوری در هر دو شرایط جریان آزاد و مستغرق بسیار بالا است.

نورانی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی رابطه دبی-اشل و ضریب دبی در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی با استفاده از نرم افزار انسیس فلونت پرداختند. نتایج نشان داد که در سرریزهای پلان مثلثی بسته به زاویه قرارگیری، میزان ضریب جریان ۱ الی ۸ درصد نسبت به سرریزهای هم عرض کانال افزایش می یابد. محدوده ضریب دبی با استفاده از رابطه پیشنهادی ۰/۵۹ تا ۰/۸۱ بدست آمد و به ازای زاویه ۱۵ درجه، ضریب دبی حداکثر حاصل شد.

در مطالعات صورت گرفته، زاویه از جدار سرریزهای مایل مورد بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف از این تحقیق، بررسی تاثیر پارامترهای هندسی بر عملکرد سرریزهای مایل و خصوصیات هیدرولیکی آن است که نتایج به دست آمده با مقادیر سرریز مستطیلی ساده مقایسه خواهد گردید. برای این کار ابتدا مدل عددی با استفاده از نرم افزار انسیس فلونت شبیه سازی گردیده و صحت سنجی آن با نتایج کار آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می گیرد. همچنین نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج رابطه پیشنهادی در تحقیق حاضر و نتایج دیگران مورد مقایسه قرار می گیرد.

مواد و روش ها

هدف از تحلیل ابعادی شناخت پارامترهای موثر در پدیده مورد مطالعه و تعیین نسبت های بدون بعد آن می باشد که با استفاده از روش های مختلفی هم چون روش ماتریسی، π - باکینگهام، ریلی و... می توان به آن دست یافت. با توجه به این نکته که روش π - باکینگهام کاربرد بیشتری نسبت به سایر روش ها دارد، لذا در این تحقیق نیز تحلیل ابعادی بر مبنای این روش انجام می شود.

معادله یک بعدی جریان روی سرریز با فرض جریان آزاد از روی یک سرریز لبه تیز مستطیلی ساده به صورت زیر می باشد:

و با بررسی مشخصات هیدرولیکی جریان در اطراف سرریزها، نشان دادند که با افزایش شیب سرریز در جهت جریان، فشار و آبستتگی کاهش پیدا می کند و ضریب دبی سرریز افزایش می یابد و در نهایت بیشترین مقدار آبگذری را برای سرریز با زاویه ی ۵۰ درجه نسبت به افق ارائه کردند.

(Dabbling and Tullis (2017) تاثیر سرریز لایبرانت

با ارتفاع تاج مختلف بر هیدروگراف جریان پایین دست را به صورت آزمایشگاهی بررسی کرده و به این نتیجه دست یافتند که در مواقع سیلابی (دبی های بالا) سرریز لایبرانت با ارتفاع تاج مختلف در مقایسه با سرریز اوجی عملکرد بهتری دارد.

(Mahtabi and Arvanaghi (2018) به بررسی

آزمایشگاهی و عددی ضریب دبی سرریز لبه تیز مستطیلی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش (H/p) ، ضریب دبی بصورت غیرخطی کاهش یافته و به مقدار ثابت ۰/۷ برای $(H/p > 0.6)$ می رسد. بهترین فرم معادله پیش بینی ضریب دبی با احتمال خطای ۵٪ \pm بود.

(Emami et al. (2018) به بررسی عددی تاثیر

پارامترهای هندسی سرریز پلان مثلثی بر ضریب دبی پرداختند. در این مطالعه، نرم افزار فلونت به عنوان یک آزمایشگاه مجازی مورد استفاده قرار گرفت و شبیه سازی های عددی گسترده ای برای بررسی اثر هندسه سرریز بر ضریب دبی سرریز با پلان غیرخطی انجام شد. نتایج نشان داد که با تغییر زاویه راس سرریز، ضریب دبی در محدوده ارتفاع نسبی کمتر از ۰/۳ متر رضایت بخش می باشد.

(Bilhan et al. (2018) به بررسی آزمایشگاهی و

عددی سرریزهای کنگره ای دایره ای پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تطابق مناسبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی وجود دارد.

(Carrillo et al. (2019) به بررسی عددی سرریزهای

کنگره ای در شرایط جریان آزاد و مستغرق با استفاده از نرم افزار انسیس فلونت^۱ پرداختند. با صرف نظر از نوع

^۱ Ansys Fluent

که در رابطه ۲ و ۳، P ارتفاع سرریز، W عرض سرریز،
 α زاویه انحراف سرریز از دیواره، V سرعت جریان، σ
کشش سطحی، P جرم واحد حجم سیال، μ لزوجت
دینامیکی سیال، Re عدد رینولدز، Fr عدد فرود و We عدد
ویر می باشند (شکل ۱).

در این تحقیق حداقل ارتفاع آب روی سرریز بیشتر از
۳ سانتی متر می باشد. به این ترتیب اثر کشش سطحی بر
روی سرریز ناچیز بوده و می توان از آن صرف نظر کرد و
عدد ویر را از معادله حذف نمود. با توجه به اینکه جریان در
کانال معمولاً بصورت متلاطم می باشد و اثر لزجت
دینامیکی بر رفتار هیدرولیکی جریان قابل نظر است
پس عدد رینولدز را نیز می توان از معادله حذف کرد.

با ساده سازی رابطه ۳، معادله ضریب دبی به صورت

تابعی از اعداد بدون بعد زیر می شود:

$$C_d = f\left(\frac{H}{P}, \frac{W}{L_e}, \frac{P}{L_e}, \alpha\right) \quad (4)$$

در شکل ۱ نمایی از مدل ها و مشخصات هندسی آنها
نشان داده شده است.

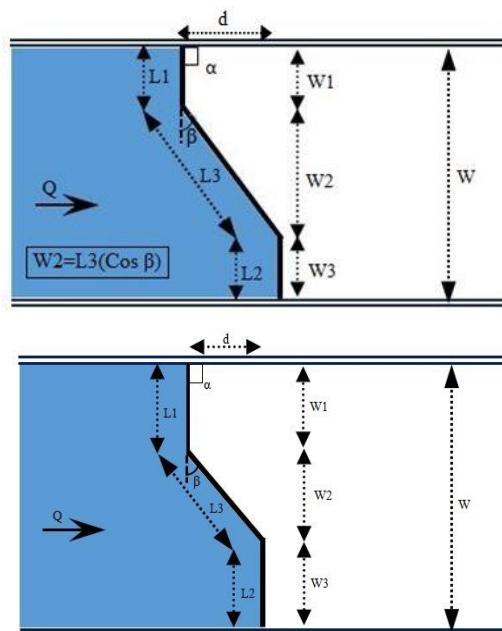
$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L_e H^{1.5} \quad (1)$$

که در آن Q دبی جریان عبوری از روی سرریز بر
حسب مترمکعب بر ثانیه، L_e طول موثر تاج سرریز بر
حسب متر ($L_e = L_1 + L_2 + L_3$)، H بار آبی روی تاج سرریز
بر حسب متر، g شتاب گرانش بر حسب متر بر مجذور
ثانیه و C_d ضریب دبی جریان بدون بعد می باشد. با روش
تحلیل ابعادی و در نظر گرفتن متغیرهای مؤثر هندسی،
سینماتیکی و دینامیکی جریان، تابع ضریب دبی برای
سرریز مایل به فرم رابطه ۲ بیان می شود:

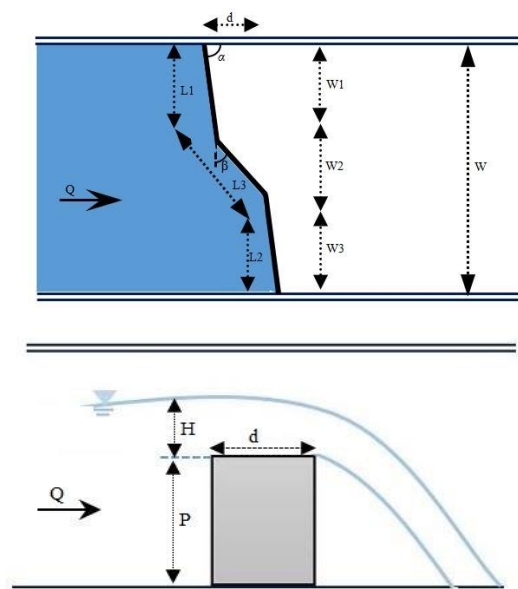
$$C_d = f_1(H, L_e, P, W, \alpha, V, g, \rho, \sigma, \mu) \quad (2)$$

که رابطه ۲ با استفاده از تئوری π -باکینگهام به فرم
رابطه ۳ بیان می گردد:

$$C_d = f_2\left(\frac{H}{P}, \frac{W}{L_e}, \frac{P}{L_e}, Re, Fr, We, \alpha\right) \quad (3)$$



شکل (۱): نمایی از سرریز لبه تیز مایل



ادامه شکل (۱): نمایی از سرریز لبه تیز مایل

در تحقیق حاضر، شرایط جریان در یک فلوم با عرض ۵۰ سانتی‌متر، طول ۳ متر و ارتفاع ۱/۲ متر در نرم‌افزار انسیس فلوئنت به صورت سه بعدی شبیه‌سازی شده است. در این کانال ضخامت سرریز در کف برابر ۱ سانتی‌متر و تاج آن به صورت کاملاً تیز طراحی شده است. در جدول ۱ محدوده پارامترهای متغیر نشان داده شده است.

شبیه‌سازی عددی

نخستین گام در استفاده از شبیه‌سازی عددی، انتخاب مدل عددی مناسب برای مسئله موردنظر می‌باشد. در تحقیق حاضر با توجه به توانایی‌های نرم‌افزار انسیس فلوئنت در شبیه‌سازی جریان هیدرولیکی، از این نرم‌افزار استفاده شده است.

جدول (۱): محدوده تغییرات پارامترهای متغیر

پارامترها	محدوده
α (Degree)	۴۵-۹۰
L_1 (m)	۵-۲۰
L_2 (m)	۵-۲۰
H/P	۰/۶-۱/۲

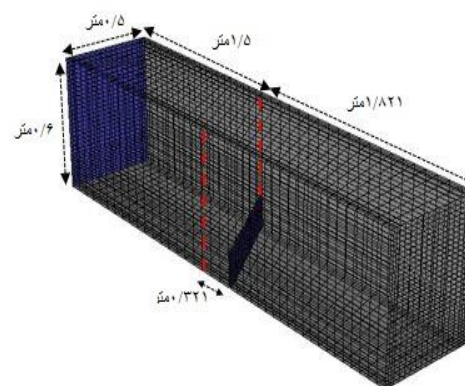
زاویه ۵۱/۱۴ درجه بیشترین میزان دبی جریان عبوری حاصل می‌گردد و در تحقیق حاضر ۵۱/۱۴ درجه در نظر گرفته شد.

لازم به ذکر است که β در تمامی مدل‌ها ثابت و برابر ۵۱/۱۴ درجه در نظر گرفته شده است. برای انتخاب زاویه ۵۱/۱۴ درجه، سرریز مورب در زاویه‌های مختلف (۹۰-۵۱/۱۴) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در

جدول (۲): درصد افزایش دبی در حالت مورب نسبت به حالت سرریز هم‌عرض کانال در حالت $h/P=1.2$

ارتفاع سرریز (سانتی‌متر)		زاویه سرریز (β) (درجه)	
۲۵	۲۰	۱۵	۷۸/۷
۴۹/۸۲	۳۳/۴۲	۳/۰۲	۶۸/۲
۵۱/۰۸	۳۵/۱۸	۵/۹۲	۵۹/۰۴
۵۱/۶۳	۳۸/۹۵	۹/۷۷	۵۱/۱۴
۵۲/۴۵	۴۴/۴۸	۱۶/۳۴	

بررسی‌های عددی در تحقیق حاضر با استفاده از نرم-افزار انسیس فلوئنت که معادلات حاکم بر جریان (معادلات ناویر-استوکس^۱) را به روش حجم محدود^۲ حل می‌کند، صورت گرفته است. در تحقیق حاضر برای شبکه-بندی^۳ هندسه مدل از المان Quad نوع MAP و جهت شبکه‌بندی تمامی حجم‌ها از المان Hex نوع MAP استفاده گردید. در شکل ۲ نمایی از نحوه شبکه‌بندی مدل عددی در محیط انسیس فلوئنت نشان داده شده است

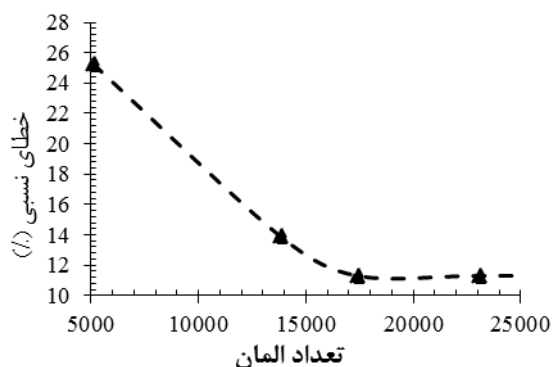


شکل (۲): نمایی از نحوه شبکه‌بندی مدل عددی در محیط Ansys Fluent برای حالت $\alpha = 90^\circ, L_1=L_2=5\text{cm}$

¹ Navier-Stokes Equations

² Finite Volume Method

³ Meshing



شکل (۳): آزمون مستقل بودن المان‌ها

جهت شبیه‌سازی عددی جریان عبوری از سرریز مایل از بین مدل‌های آشفتگی، مدل (RNG) $k-\epsilon$ که دارای مقدار خطای نسبی کم‌تری است، انتخاب شد.

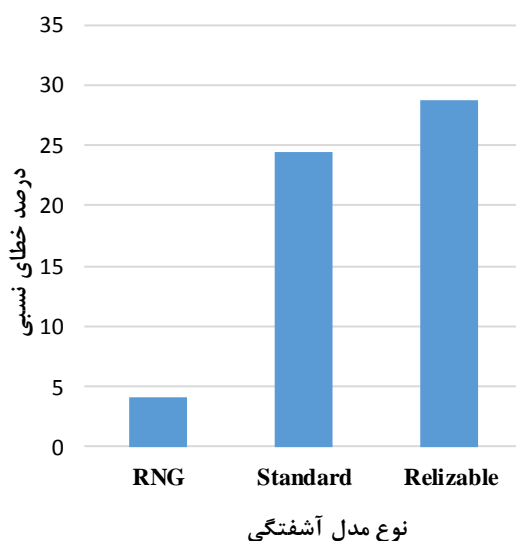
جهت اعتبار سنجی و جلوگیری از تاثیر اندازه شبکه‌ها در حل معادلات حاکم، ابتدا تعداد و اندازه المان بهینه توسط آزمون مستقل از شبکه بدست آمد. بدین صورت که با در نظر گرفتن معادله ارائه شده توسط Afzalimehr and Bageri (2009) که با استفاده از تئوری جریان پتانسیل از روی یک صفحه مسطح و عمود بر جریان، رابطه ۵ را به منظور تعیین ضریب دبی سرریزهای مستطیلی بدون فشرده‌گی و برای دامنه $H/P < 8$ ارائه نمودند، با تغییر تعداد شبکه در محیط حل مسئله میزان درصد خطای نسبی (RE%) در تعیین ضریب دبی در یکی از حالت‌های شبیه‌سازی استخراج گردید.

$$C_d = 0.409 \times \frac{P^{0.541}}{h} \times \left(\left(1 + \frac{h}{P} \right)^2 - 1 \right)^{0.5} \quad (5)$$

آزمایش‌های Afzalimehr and Bageri (2009) از یک فلوم آزمایشگاهی به مقطع مستطیلی و به صورت افقی با دیواره‌ای از جنس پلکسی گلس شفاف انجام گردید. فلوم فلزی با طول ۷ متر، عرض ۰/۳۲ متر و ارتفاع ۰/۳۵ متر بود. جهت ساخت مدل سرریز مستطیلی لبه تیز بدون فشرده‌گی^۱ از یک صفحه پلکسی گلس شفاف به ضخامت ۱/۵ میلی‌متر با تیزی تاج ۶۰ درجه بهره برده شد. در ضمن برای اندازه‌گیری ارتفاع بالادست از یک عمق سنج نقطه‌ای با دقت ± 1 میلی‌متر و برای اندازه‌گیری دبی از جریان سنج الکترومغناطیسی با دقت $\pm 0.5\%$ استفاده گردید.

نتیجه حاصل از آزمون مستقل از شبکه، در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌گردد که در تعداد المان‌های ۱۷۴۰۰ به بالا، میزان درصد خطا تقریباً ثابت شده و نتایج تقریباً یکسانی از نظر مقدار ضریب دبی مشاهده خواهد شد. به همین دلیل در شبکه-بندی مدل مورد مطالعه، تعداد المان ۱۷۴۰۰ به عنوان شبکه بهینه انتخاب گردید و سعی گردید در تمامی مدل-های عددی، تعداد شبکه‌ها از این مقدار کمتر نباشد تا بر دقت نتایج افزوده گردد (شکل ۳).

¹ Suppressed Weir



شکل (۴): روند تغییرات خطای نسبی دبی جریان در حالت‌های مختلف مدل آشفتگی

L_2 های برابر ۵ سانتی‌متر در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۵ می‌توان استنباط نمود که با غیرخطی شدن سرریز، جریان پس از ریزش از روی تاج سرریز به حالت چرخشی حول محور کانال ادامه مسیر می‌دهد تا تاثیر جریان چرخشی از بین رود و جریان به حالت یکنواخت برسد. با افزایش L_1 و L_2 ، جریان چرخشی افزایش می‌یابد و برای رسیدن به حالت یکنواخت باید مسیر بیشتری را طی گردد. در سرریز بدون زاویه، جریان پس از ریزش از سرریز با کم‌ترین تغییر در مسیر خود به حرکت خود ادامه می‌دهد.

برای حل معادلات سطح آزاد جریان، روش حجم سیال^۱ و همچنین از بین روش‌های تصحیح فشار، الگوریتم PISO^۲، و برای گسسته‌سازی معادلات مومنتوم روش جهت‌مند مرتبه دوم^۳ انتخاب شد و با تعیین شرایط مرزی^۴ و شرایط اولیه^۵ بسته به فیزیک مساله و نوع جریان (جریان در ابتدا غیردائمی^۶) شبیه‌سازی شروع شد و تا رسیدن به حالت دائمی این شبیه‌سازی ادامه یافت. شرایط مرزی در مقطع ورودی به صورت فشار جریان آب و برای مقطع خروجی از فشار خروجی صفر استفاده شد. هم-چنین در روی مرزهای جامد از شرط مرزی دیوار و برای مدل‌سازی جریان هوا (به منظور هوادهی به سرریز) شرط مرزی سرعت ورودی تعریف شد.

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، تخمین ضریب‌دبی سرریزهای مایل با استفاده از نرم‌افزار انسیس فلونت انجام گرفت. برای نشان دادن بهتر الگوی جریان عبوری از روی سرریز مایل، بردارهای سرعت روی کف کانال برای سرریزهای با L_1 و

¹ Volume of Fluid (VOF)

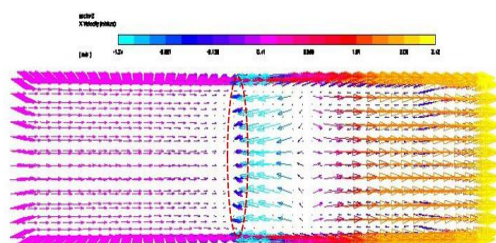
² Pressure Implicit with Splitting Operators

³ Second order upwind

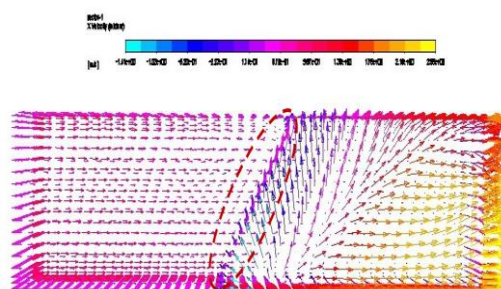
⁴ Boundary condition

⁵ Initial value

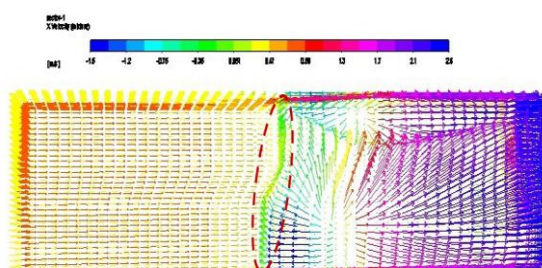
⁶ Unsteady flow



الف: سرریز هم عرض کانال



ب: سرریز مایل با $L_1=L_2=5\text{cm}$

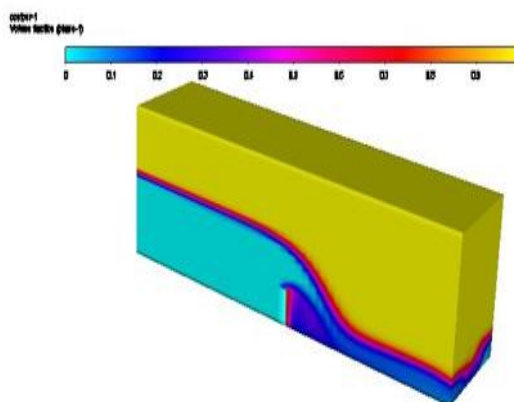


ج: سرریز مایل با $L_1=L_2=20\text{cm}$

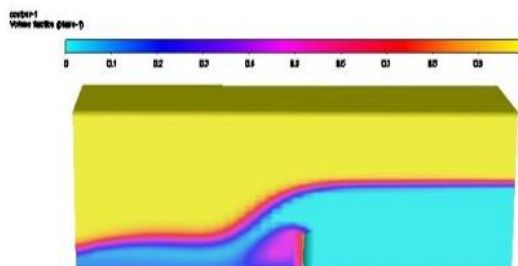
شکل (۵): بردارهای سرعت جریان عبوری بر روی کف کانال در سرریز مایل (دید از بالا)

سطح جریان تشکیل می‌گردد (سلول با رنگ زرد با مقدار عددی یک یعنی پر از هوا و سلول با رنگ آبی با مقدار عددی صفر کاملاً پر از آب را نشان می‌دهد). با توجه به شکل ۶-ج، قسمت مشخص شده به رنگ آبی بیانگر این است که در این سمت سرریز که نزدیک‌تر به بالا دست می‌باشد، آب زودتر از بالای تاج سرریز عبور کرده و ارتفاع آب در این سمت نسبت به سمت دیگر بیشتر است. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است، پروفیل سطح آب در کناره‌ها با یکدیگر متفاوت هستند

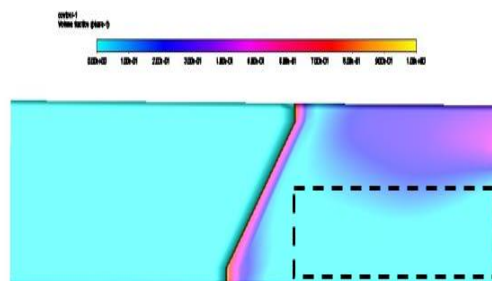
نحوه ریزش جریان آب در شبیه‌سازی عددی از روی سرریز مورب در شرایط $L_1=L_2=5\text{cm}$ برای سرریز با ارتفاع ۰/۱۵ متر در شکل ۶ نشان داده شده است. برای تعیین سطح آزاد جریان، در این تحقیق از روش حجم سیال (VOF) استفاده گردید که این روش بر اساس مقدار حجم سیال در هر سلول، پروفیل سطح جریان را ترسیم می‌نماید، به این ترتیب که برای سلول خالی مقدار صفر و برای سلول پر مقدار عددی یک و برای سلول‌های دارای حجم مشخصی از سیال مقداری بین صفر و یک را اختصاص می‌دهد و بعد از وصل این اعداد بهم پروفیل



الف: دید از راست



ب: دید از چپ

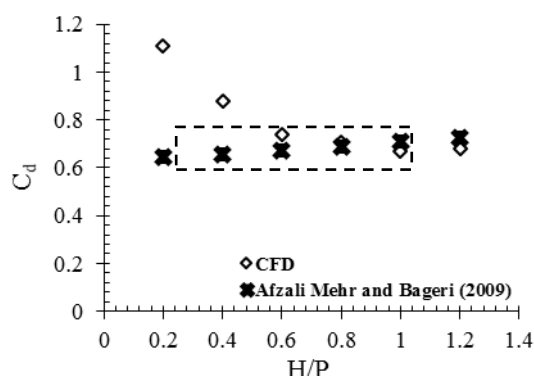


ج: دید از پایین

شکل (۶): نمایش نحوه ریزش جریان آب در شبیه‌سازی عددی از روی سرریز مورب در شرایط $L_1=L_2=5\text{cm}$

گردد، در محدوده $0/6 < H/P < 1/2$ نتایج مدل عددی با نتایج رابطه ۵ تطابق بسیار خوبی دارد و از دقت بسیار بالایی در تخمین ضریب دبی در محدوده مذکور برخوردار می‌باشد. به همین جهت بررسی ضریب دبی سرریز مایل در محدوده مذکور صورت پذیرفت.

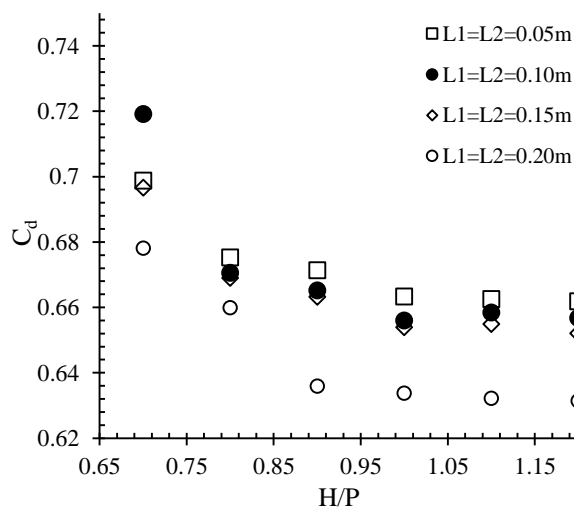
برای اعتبار سنجی شبیه‌سازی عددی در تحقیق حاضر از رابطه استخراجی (Afzalimehr and Bageri (2009) (رابطه ۵) استفاده گردید. در شکل ۷ ضریب دبی سرریز مستطیلی هم‌عرض کانال حاصل از نتایج مدل عددی و رابطه ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌-



شکل (۶): تغییرات ضریب دبی با H/P های مختلف در حالت هم عرض کانال

خود عبور دهند. بنابراین در بار آبی کم نسبت به شرایطی که بار آبی زیاد است عملکرد بهتری را دارا می‌باشند. همچنین با توجه به شکل ۸، در یک H/P ثابت، با افزایش L_1 و L_2 و در نتیجه کاهش طول موثر، ضریب دبی جریان عبوری کاهش می‌یابد

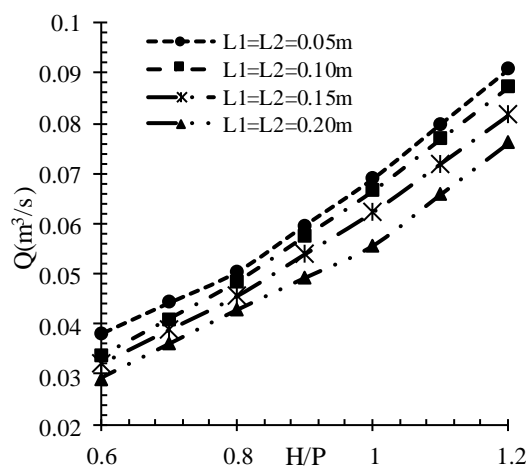
در شکل ۸ رابطه ضریب دبی با H/P در L_1 و L_2 های مختلف برای ارتفاع سرریز ۱۵ سانتی‌متر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد با افزایش H/P ، ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد و این نشان می‌دهد که سرریزهای مایل در بار آبی کم می‌توانند جریان بیشتری از



شکل (۸): مقایسه تغییرات ضریب دبی سرریز مایل به ازای H/P های مختلف

طول تاج سرریز سبب افزایش دبی عبوری می‌گردد. همچنین با افزایش نسبت H/P میزان دبی جریان عبوری نیز افزایش می‌یابد

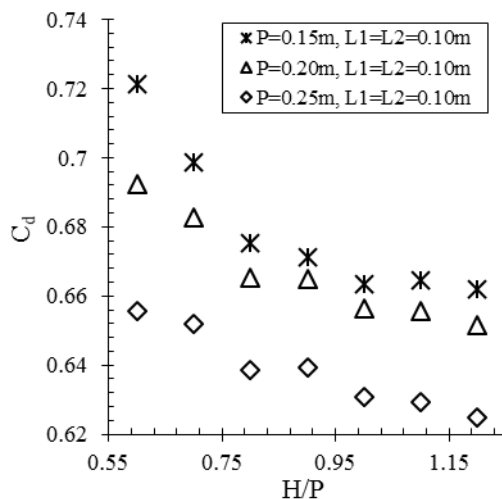
در شکل ۹ نحوه تغییرات دبی عبوری از سرریز مایل در L_1 و L_2 های مختلف و ارتفاع سرریز ۱۵ سانتی‌متر نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، با کاهش L_1 و L_2 ، طول تاج سرریز افزایش می‌یابد و افزایش



شکل (۹): مقایسه تغییرات دبی در برابر H/P برای $L1$ و $L2$ های مختلف

است. با توجه به شکل ۱۰، با افزایش H/P ضریب دبی کاهش می‌یابد و تقریباً از $H/P=1$ به یک روند ثابتی می‌رسد. همچنین در یک H/P مشخص با افزایش ارتفاع سرریز مایل، ضریب دبی کاهش می‌یابد.

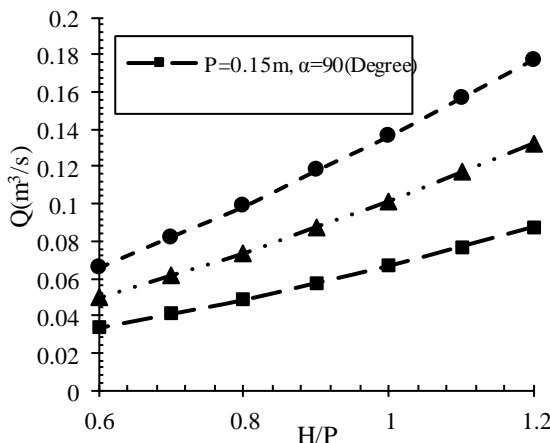
در شکل ۱۰ تاثیر ارتفاع سرریز بر ضریب دبی عبوری سرریزهای مایل در سه ارتفاع ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر مورد مقایسه قرار گرفتند. تغییرات ضریب دبی جریان عبوری نسبت به H/P های مختلف در یک زاویه مشخص برای ارتفاعهای مختلف در شکل ۱۰ نشان داده شده



شکل (۱۰): تغییرات ضریب دبی با H/P در ارتفاعهای مختلف سرریز مایل

نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۱، با افزایش H/P دبی جریان عبوری افزایش می‌یابد. همچنین در یک H/P مشخص با افزایش ارتفاع سرریز مایل، دبی افزایش می‌یابد.

برای بررسی تاثیر ارتفاع سرریز بر دبی، سرریزهای مایل در سه ارتفاع ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر مورد مقایسه قرار گرفتند. در شکل ۱۱، تغییرات دبی نسبت به H/P های مختلف در یک $L1$ و $L2$ ثابت برای ارتفاعهای مختلف



شکل (۱۱): تغییرات دبی با H/P در ارتفاع‌های مختلف سرریز مایل

شرایط ثابت و معین، سرریزهای مایل دبی بیشتری را نسبت به سرریزهای هم‌عرض کانال می‌توانند از خود عبور دهند و این به دلیل افزایش طول تاج سرریز می‌باشد. در زاویه ۴۵ درجه با H/P برابر $0/6$ متر بیشترین افزایش دبی جریان عبوری حدود ۲۵ درصد و در ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری اتفاق افتاده است.

در جدول ۳ درصد افزایش دبی در حالت مایل نسبت به حالت سرریز هم‌عرض کانال نشان داده شده است. باتوجه به جدول ۳، با کاهش α دبی بیشتری از روی سرریز عبور می‌کند و همچنین میزان درصد افزایش دبی جریان عبوری در H/P پایین بیشتر از دبی جریان عبوری در H/P بزرگتر است. این نشان می‌دهد که به ازای یک

جدول (۳): درصد افزایش دبی در حالت مایل نسبت به حالت سرریز هم‌عرض کانال در حالت $L_1=L_2=0.05m$

ارتفاع سرریز ۱۵ سانتی‌متر				α (درجه)
$H/P=0.60$	$H/P=0.80$	$H/P=1$	$H/P=1.2$	
۲۲/۷۹	۱۹/۸۹	۱۶/۴۵	۱۴/۴۸	۹۰
۲۲/۷۷	۱۹/۵۰	۱۶/۳۶	۱۴/۶۶	۷۵
۲۲/۸۱	۱۹/۷۵	۱۶/۱۶	۱۴/۷۳	۶۰
۲۴/۵۷	۲۲/۷	۲۱/۴۸	۱۷/۵۱	۴۵

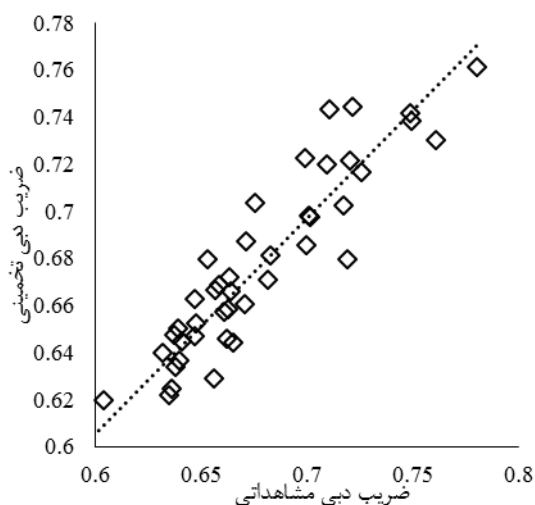
نزدیکی خط نیمساز قرار گرفته‌اند که این مقبولیت رابطه رگرسیونی را نشان می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که رابطه رگرسیون چندگانه خطی با ضریب تبیین (R^2) برابر $0/۸۳۶$ و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) برابر $0/۰۸۵$ از دقت خوبی برخوردار می‌باشد

در تحقیق حاضر با استفاده از داده‌های عددی، رابطه رگرسیون چندگانه خطی (رابطه ۶) برای محدوده $0.6 < H/P < 1.2$ ، $45^\circ < \alpha < 90^\circ$ و ثابت $\beta = 51/14$ درجه استخراج گردید. در شکل ۱۲ پراکندگی داده‌ها برای رگرسیون چندگانه خطی نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۲ مشاهده می‌گردد که بیشتر نقاط بر روی یا

در جدول ۴ مقایسه بین نتایج دبی جریان عبوری حاصل از رابطه پیشنهادی تحقیق حاضر (رابطه ۶) با رابطه نیک‌پیک و کاشفی‌پور (۱۳۹۵) (رابطه ۷) و مدل عددی در تخمین دبی جریان عبوری برای سرریزهای مایل نشان داده شده است.

$$C_d = 0.907 + 0.431 \frac{H}{L_e} - 0.701 \frac{H}{W} \quad (7)$$

همانطور که مشاهده می‌گردد رابطه رگرسیونی پیشنهادی تحقیق حاضر (رابطه ۶)، با خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد می‌تواند دبی جریان را برآورد نماید. بنابراین با جایگذاری رابطه ضریب دبی پیشنهادی در تحقیق حاضر (رابطه ۶) در رابطه عمومی سرریزهای لبه‌تیز مستطیلی هم‌عرض کانال، می‌توان دبی عبوری از سرریزهای مایل را تخمین زد



شکل (۱۲): نمودار پراکندگی داده‌ها برای مدل (MR-) (Linear)

$$C_d = 1.22 \left(\frac{W}{L_e} \right)^{13.549} - 7.123 \left(\frac{H}{P} \right)^{0.02} + \left(\frac{P}{L_e} \right)^{-0.339} + 6.371 (\alpha^{-0.011}) \quad (6)$$

جدول (۴): مقایسه بین نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی رگرسیونی در تحقیق حاضر با رابطه نیک‌پیک و کاشفی‌پور (۱۳۹۵) و مدل عددی

α °	H/P	Fluent Q (Lit/s)	Equation6 Q (Lit/s)	Equation7 Q (Lit/s)
۹۰	۰/۶	۰/۷۷۹	۰/۷۶۱	۰/۸۴۴
۹۰	۱/۲	۰/۶۳۵	۰/۶۲۴	۰/۷۵۶
۹۰	۱	۰/۶۶۳	۰/۶۷۱	۰/۸۰۷
۷۵	۱/۲	۰/۶۴۱	۰/۶۴۴	۰/۷۵۸
۷۵	۰/۸۰	۰/۷۱۷	۰/۷۰۲	۰/۸۲۶
۷۵	۱/۲	۰/۶۳۴	۰/۶۲۱	۰/۷۷۸
۶۰	۰/۹۰	۰/۷۳۷	۰/۷۴۷	۰/۷۹۹
۶۰	۱	۰/۶۷۶	۰/۶۷۲	۰/۷۲۶
۶۰	۰/۶۰	۰/۷۶۰	۰/۷۳۰	۰/۸۴۲
۴۵	۱/۲	۰/۶۳۱	۰/۶۳۹	۰/۷۷۳
۴۵	۰/۸۰	۰/۷۰۱	۰/۶۹۷	۰/۸۱۷
۴۵	۰/۶۰	۰/۷۴۸	۰/۷۳۸	۰/۸۴۰

نتیجه گیری

در تحقیق حاضر تاثیر پارامترهای هندسی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در سرریزهای مایل با استفاده از نرم افزار انسیس فلوئنت مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت. نرم افزار انسیس فلوئنت به روش حجم محدود معادلات حاکم را حل می کند و شبیه سازی به صورت سه بعدی انجام گرفت. نتایج مدل آزمایشگاهی Afzalimehr and Bageri (2009) برای صحت سنجی مدل عددی در تحقیق حاضر استفاده گردید که در محدوده $1/2 < H/P < 1/6$ از دقت بسیار بالایی در تخمین ضریب دبی برخوردار می باشد.

پروفیل سطح آب و بردارهای سرعت جریان عبوری در سرریزهای مایل نسبت به سرریز هم عرض کانال متفاوت می باشند. جریان پس از عبور از روی تاج سرریز به حالت چرخشی حول محور کانال ادامه مسیر می دهد تا تاثیر جریان چرخشی بعد از طی مسیری به حالت یکنواخت برسد. بنابراین پروفیل سطح آب در سرریزهای مایل در طرفین کانال هنگام ریزش جریان از روی سرریز دارای پروفیل های متفاوتی هستند.

با استفاده از داده های حاصل از مدل عددی، رابطه رگرسیون چندگانه غیرخطی برای تخمین ضریب دبی سرریزهای مایل ارائه گردید. در ادامه نتایج حاصل از مدل عددی با رابطه استخراجی نیک پیک و کاشفی پور (۱۳۹۵) و رابطه پیشنهادی چندگانه رگرسیونی در تحقیق حاضر مورد مقایسه قرار گرفت و نشان داده شد که با به کارگیری رابطه پیشنهادی در تحقیق حاضر در رابطه عمومی سرریزهای لبه تیز (رابطه ۱) با خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد، دبی جریان عبوری از سرریزهای مایل را برآورد نمود. ضریب دبی سرریزهای مایل در L_1 و L_2 های مختلف با افزایش H/P ، کاهش می یابد و همچنین در یک H/P ثابت، با کاهش L_1 و L_2 و در نتیجه افزایش طول موثر تاج سرریز، ضریب دبی کاهش و دبی جریان عبوری افزایش می یابد. تاثیر ارتفاع سرریز مایل نیز مورد بررسی قرار گرفت و باتوجه به نتایج حاصله، در یک H/P ثابت با افزایش ارتفاع سرریز، ضریب دبی کاهش و دبی جریان عبوری افزایش می یابد.

فهرست علائم

C_d	ضریب دبی سرریز مایل، -
H	بار آبی روی سرریز، m
L_e	طول موثر تاج سرریز، m
P	ارتفاع سرریز، m
W	عرض کانال، m
α	زاویه دیواره کانال با سرریز، Degree
β	زاویه سرریز با افق، Degree

منابع

- بابایی، ا.، ح. کرمی و س. فرزین. ۱۳۹۸. بررسی عددی خصوصیات جریان در سرریز لبه تیز با مقطع افقی مثلثی با زاویه رأس در پایین دست. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال نهم، شماره ۳۵، ص ۴۵-۴۹.
- نیک پیک، پ. و م. کاشفی پور. ۱۳۹۵. تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدلسازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای نوکاردکی و مایل. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۳۹، شماره ۱، ص ۱۰-۱.
- فرزین، س.، ح. کرمی، ف. یحیوی و ش. نیر. ۱۳۹۷. بررسی عددی مشخصات هیدرولیکی جریان اطراف سرریز لبه تیز قائم و مورب با شبیه سازی در نرم افزار Flow3D. مجله پژوهش های عمران و محیط زیست، دوره ۴، شماره ۱، ص ۲۴-۱۵.

نورانی، ب.، ر. نوروزی، ف. سلماسی و ف. رضایی. ۱۳۹۸. بررسی رابطه دبی- اشل و ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز پلان مثلثی. نشریه مهندسی عمران امیر کبیر، (DOI): 10.22060/CEEJ.2019.16931.6399

Afzalimehr, H. and S. Bagheri. 2009. Discharge coefficient of sharp-crested weirs using potential flow. *Journal of Hydraulic Research*, 47(6): 820-823.

Arvanaghi, H. and G. Mahtabi. 2014. Numerical Investigation of Discharge Coefficient in Combined Weir-Gate with Equal Contraction. *Journal of Current Research in Science*, 2(4): 460.

Bilhan, O., M. Aydin, M. Emiroglu and C. Miller. 2018. Experimental and CFD Analysis of Circular Labyrinth Weirs. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 144(6), 04018001-04018007.

Crookston, B.M. and B.P. Tullis. 2012. Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. *Irrig. Drain. Engr. ASCE*. 138(6): 773-776.

Carrillo, J., J. Matos and R. Lopes. 2019. Numerical modeling of free and submerged labyrinth weir flow for a large sidewall angle. *Journal of Environmental Fluid Mechanics*, 20: 357-374.

Daneshfaraz, R., O. Minaei, J. Abraham, S. Dadashi and A. Ghaderi. 2019. 3-D Numerical simulation of water flow over a broad-crested weir with openings. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 1:1-9.

Dabling, M.R. and B.P. Tullis. 2017. Modifying the downstream hydrograph with staged labyrinth weirs. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 6(3): 183-190.

Emami, S., H. Arvanaghi and J. Parsa. 2018. Numerical Investigation of Geometric Parameters Effect of the Labyrinth Weir on the Discharge Coefficient. *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*, 6(1): 1-9.

Hay, N. and G. Taylor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. *Hydraulic. Eng., ASCE*, 96(11): 2337-2357.

Mahtabi, G. and H. Arvanaghi. 2018. Experimental and numerical analysis of flow over a rectangular full-width sharp-crested weir. *Journal of Water Science and Engineering*, 11(1): 75-80.

Kumar, S., Z. Ahmad, T. Mansoor and S.K. Himanshu. 2011. A New Approach to Analyze the Flow over Sharp Crested Curved Plan form Weir. *International Journal of Recent Technology and Engineering* 2(1), 2277-2290.

Norouzi, R., H. Arvanaghi, F. Salmasi, D. Farsadizadeh and M.A. Ghorbani. 2020. A new approach for oblique weir discharge coefficient prediction based on hybrid inclusive multiple mode. *Flow Measurement and Instrumentation*. 76(11).

Taylor, G..1968. *The Performance of Labyrinth Weirs*. University of Nottingham, UK.

Rezaee, M., A. Emadi and Q. Aqajani Mazandarani. 2016. Laboratory study overflow rectangular Congress. *Journal of Water and Soil Science*, 29(6): 1438-1446.



Influence of geometrical parameters on flow hydraulic properties in inclined weirs

Reza Norouzi¹, Hadi Arvanaghi², Farzin Salmasi³, Davood Farsadizadeh⁴, Mohammad Ali Ghorbani⁵

Abstract

Weirs are one of the most important hydraulic structures for flow control, water measurement, and regulating of upstream water elevation in canals, irrigation networks, and rivers. For a given channel width, inclined weirs have a longer effective length in comparison with the usual rectangular sharp-crested weirs, and this could be effective on their discharge coefficients and efficiency. In the present study, the effect of the geometrical parameters on the hydraulic properties of the flow in inclined weirs was investigated using 3D Ansys Fluent software. Numerical simulations were validated by laboratory results. Weir height (P), weir angle with channel wall (α), water height above the weir (H), and effective length (L_e) were investigated. The MR-linear regression model performance in applying the inclined weir discharge coefficient was investigated. The results indicated that this relation is very similar to the numerical model results. The numerical model results were also compared with those of the other researchers. Inclined weirs discharge coefficient at different effective lengths decreases by increasing H/P , and at a constant H/P , by increasing the weir effective length, the discharge coefficient decreases, and the flow rate increases. Increasing in weir height results increasing in discharge.

Keywords: Inclined weirs, Discharge coefficient, Numerical model, Ansys Fluent, Discharge.

¹ Ph.D. Candidate, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Email: Rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir, Tel:09147084338

² Associate Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Corresponding author Email: arvanaghi.hadi@gmail.com, Tel: 09144195085

³ Associate Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Email: Salmasi@tabrizu.ac.ir, Tel: 09143178332

⁴ Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Corresponding author Email: Farsadi@tabrizu.ac.ir, Tel: 09143135801

⁵ Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Email: ghorbani@tabrizu.ac.ir, Tel: 09144140381

Influence of geometrical parameters on flow hydraulic properties in inclined weirs

Reza Norouzi¹, Hadi Arvanaghi², Farzin Salmasi³, Davood Farsadizadeh⁴, Mohammad Ali Ghorbani⁵

Introduction

One of the problems facing irrigation networks is the change in the flow rate of the flow through the intake structure due to severe fluctuations in the water level in the main canal. The weir length and crest shape mainly govern the discharge capacity of a weir (Norouzi et al. 2020). Due to the general equation of weirs, one way to increase the discharge capacity in irrigation canals is extension of the weir crest length. One of the efficient methods to increase the sufficient crest length of the weir for a given channel width is to use non-linear weirs in plan-view (Crookston and Tullis, 2012).

Many researchers have conducted extensively experimental and numerical studies to estimate the nonlinear weir discharge coefficients. Arvanaghi and Mahtabi (2014) numerically simulated an inclined weir in two dimensions using Fluent software. They founded that by inclining the weir, discharge coefficients (C_d) also increases and that this type of weir is more suitable for high discharges. Dabling and Tullis (2017) investigated the effect of a labyrinth weir with different crest heights on the downstream hydrograph. The results revealed that during floods (high discharge), the staged labyrinth weirs were better than the ogee spillway.

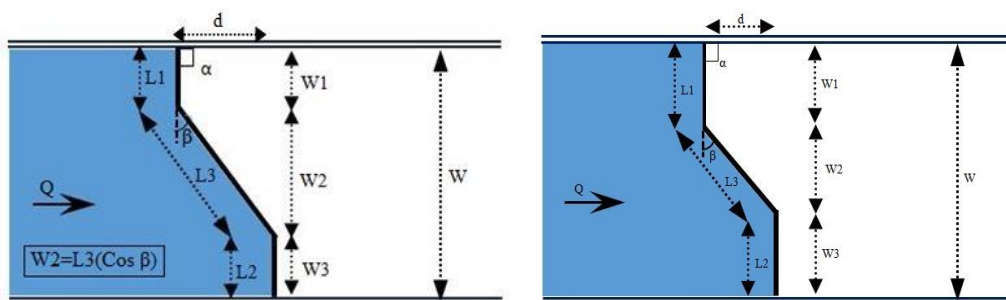
The purpose of this study is to investigate the effect of geometric parameters on the performance of oblique weirs and its hydraulic properties. The obtained results will be compared with simple sharp crested rectangular weir discharge coefficients.

Methodology

In this study, using π -Buckingham method, the discharge coefficient equation with simplifications as a function of dimensionless parameters (Eq. 1) is presented.

$$C_d = f\left(\frac{H}{P}, \frac{W}{L_e}, \frac{P}{L_e}, \alpha\right) \quad (1)$$

where, C_d is the discharge coefficient, H is the upstream head, W is the weir width, P is the weir height, L_e is the weir crest length and α is the sidewall angles (Figure 1).



¹ Ph.D. Candidate, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Email: Rezanorouzi1992@tabrizu.ac.ir, Tel:09147084338

² Associate Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Corresponding author Email: arvanaghi.hadi@gmail.com, Tel: 09144195085

³ Associate Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Email: Salmasi@tabrizu.ac.ir, Tel: 09143178332

⁴ Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Email: Farsadi@tabrizu.ac.ir, Tel: 09143135801

⁵ Professor, University of Tabriz / Department of Water Engineering/ Email: ghorbani@tabrizu.ac.ir, Tel: 09144140381

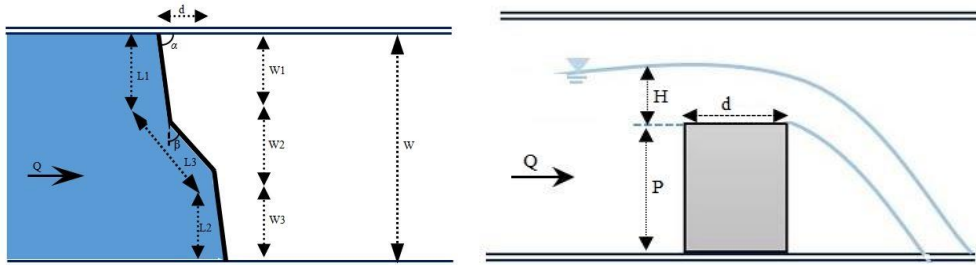


Figure 1- Overview of models and geometrical properties of the weir

In the present study, considering the capabilities of Ansys Fluent software in simulating hydraulic flow, this software has been used. The flow conditions in a flume with a width of 50 cm, a length of 3 m and a height of 1.2 m have been simulated in 3D Ansys Fluent software. In this channel, the weir thickness is assumed to be 1 cm. Table 1 shows the range of variable parameters.

Table 1- Range of Variation of Parameters

Parameters	Ranges
α (Degrees)	45-90
L_1 (m)	5-20
L_2 (m)	
H/P	0.60-1.20

To numerically simulate the flow through the oblique weir from the turbulence models, the k- (RNG) model was selected, which has a lower relative error value. The flow pressure was used as the inlet boundary condition section, and for the outlet section, the outlet pressure was zero. Also on solid boundaries, the boundary condition of the wall and the inlet velocity boundary condition were defined for weir aeration (Figure 2).

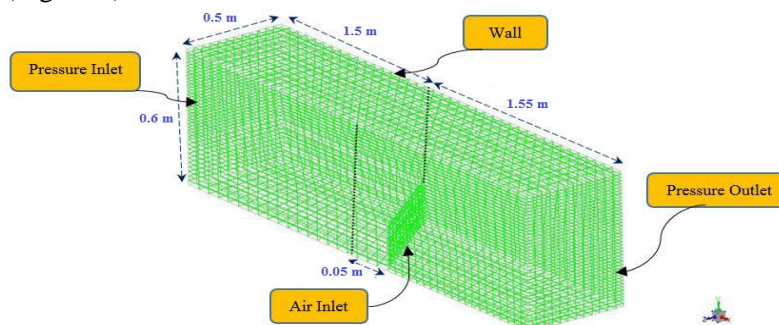


Figure 2- The applied boundary conditions and the numerical modeling mesh of the present study

Discussion and Conclusion

In the present study, the effect of geometric parameters on the hydraulic properties of the flow in oblique weirs was investigated using Ansys-Fluent software. The results of Afzalimehr and Bageri (2009) laboratory model were used to validate the numerical model in the present study, which is in the range of $1.2 < H/P < 0.6$. It has a very high accuracy in estimating the discharge coefficients. Water-surface profile and flow velocity vectors in oblique weirs are different from suppressed rectangular weir. After passing over the weir crest, the flow continues in a rotating state around the axis of the channel so that the effect of the rotating current reaches a uniform state after passing through the path.

Therefore, water surface profiles in oblique weirs on both sides of the canal have different profiles when the flow falls from the weir.

Using the data obtained from the numerical model, a nonlinear multiple regression relationship was proposed to estimate the oblique weir discharge coefficients.

$$C_d = 1.22 \left(\frac{W}{L_e} \right)^{13.549} - 7.123 \left(\frac{H}{P} \right)^{0.02} + \left(\frac{P}{L_e} \right)^{-0.339} + 6.371 (\alpha^{-0.011}) \quad (2)$$

Then the results of the numerical model were compared with the study of others and the proposed multiple regression relationship in the present study. It was shown that by applying the proposed relationship in the present study to the general relationship of sharp crested weir with a relative error of less than 10%, the flow rate estimated the flow through oblique weirs. The discharge coefficients of oblique weir in different L_1 and L_2 decreases with increasing H/P , and also in a constant H/P , with decreasing L_1 and L_2 and thus increasing the effective length of the weir crest, the discharge coefficient decreases and the flow rate increases. The effect of oblique weir height was also investigated and according to the results, at a constant H/P , with increasing weir height, the discharge coefficient decreases and the flow rate increases.

References

- Afzalimehr, H. and S. Bagheri. 2009. Discharge coefficient of sharp-crested weirs using potential flow. *Journal of Hydraulic Research*, 47(6): 820-823.
- Arvanaghi, H. and G. Mahtabi. 2014. Numerical Investigation of Discharge Coefficient in Combined Weir-Gate with Equal Contraction. *Journal of Current Research in Science*, 2(4): 460.
- Crookston, B.M. and B.P. Tullis. 2012. Discharge efficiency of reservoir application specific labyrinth weirs. *Irrig. Drain. Engr. ASCE*. 138(6): 773-776.
- Dabling, M.R. and B.P. Tullis. 2017. Modifying the downstream hydrograph with staged labyrinth weirs. *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 6(3): 183-190.
- Norouzi, R., H. Arvanaghi, F. Salmasi, D. Farsadizadeh and M.A. Ghorbani. 2020. A new approach for oblique weir discharge coefficient prediction based on hybrid inclusive multiple mode. *Flow Measurement and Instrumentation*. 76(11).