شبیه‌سازی عددی پارامترهای جریان اطراف سرریز لبه تیز قائم

سعید فرزین *[۱] ، حجت کرمی[۱]، فرزاد یحیوی کلاکی[۲] ، شهاب نیّر[۲]

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان

saeed.farzin@semnan.ac.ir

خلاصه

یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند که به‌منظور تخلیه، اندازه‌گیری و کنترل سطح آب مورداستفاده قرار می‌گیرند. سرریزهای لبه تیز بر اساس شکل تاج به مثلثی، مستطیلی، دایروی، ذوزنقه ای و سهموی تقسیم بندی می‌شوند. در این پژوهش جریان در اطراف سرریز لبه‌تیز با استفاده از نرم افزار Flow-3D پیش‌بینی شد و تاثیر ارتفاع، عدد فرود و رینولدز در ضریب تخلیه سرریز مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت. با انجام صحت سنجی مشخص گردید که مدل آشفتگی □-K بهترین مدل در بین سه مدل بررسی شده است. با توجه به مقادیر عدد فرود و رینولدز، جریان حاکم زیر بحرانی و آشفته است. با افزایش عدد فرود و رینولدز، مقادیر ضریب آبگذری کاهش یافته و به مقداری ثابت میل می کند. همچنین با وجود فشار منفی در پایین دست سرریز، بستر دچار آبشستگی و فرسایش میشود.

کلمات کلیدی: سرریز لبه‌تیز، مشخصات هیدرولیکی، شبیه‌سازی عددی، مدل آشفتگی k-ε، مدلFlow-3D

15Hydro-52

۱. مقدمه

مدیریت و انتقال آب یکی از مباحث مهم در طول توسعه تمدن بشر می‌باشد. برای پاسخگویی به نیازها، سازه‌های هیدرولیکی متنوعی طراحی و ساخته‌شده است. یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند که به‌منظور تخلیه، اندازه‌گیری و کنترل سطح آب مورداستفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که حجم جریان عبوری از سرریز تابع طول و شکل تاج سرریز می‌باشد، لذا تاکنون تحقیقات زیادی در خصوص تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب تخلیه جریان و مقدار دبی عبوری از روی سرریزها انجام‌شده است. اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌های آزمایشگاهی، سدهای مخزنی و شبکه‌های آبیاری دارای اهمیت زیادی است. به این منظور از سازههای مختلفی مانند دریچه، پارشال فلوم و سرریز استفاده می‌شود و این سازه‌ها به دو صورت لبه‌تیز و لبه‌پهن می‌باشند. در پشت سرریزهای لبه تیز بیش از سرریزهای لبه پهن رسوبگذاری داریم.

در سرریزهای لبه تیز، عمق بحرانی قبل از سر ریز اتفاق می افتد و محل آن مشخص نیست. به همین دلیل نمی توان مانند سرریز های لبه پهن از رابطه انرژی برای بدست آوردن دبی استفاده کرد. تاکنون مطالعات بسیار زیادی در زمینه هیدرولیک جریان در این سرریزها انجام شده و برای افزایش کارایی سرریزهای ساده، راه‌حل‌های مختلفی پیشنهاد شده است. حیدرپور و همکاران (۱۳۹۳) با مطالعه جریان همزمان از یک دریچه کشویی و روی یک سرریز لبه تیز ذوزنقه ای به این نتیجه رسیدند که با افزایش مقدار H/d مقدار C_d نیز افزایش می یابد، همچنین با تحلیل آماری انجام شده بر روی پارامترهای هندسی بدون بعد موثر بر جریان دبی برای شرایط مختلف جریان عبوری از روی سرریز لبه تیز ذوزنقه ای و زیر دریچه کشویی مستطیلی ارایه کردند [۱].

مجتبی عامری و همکاران (۱۳۹۴) در آزمایشگاه دانشگاه شاهرود بر روی تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مثلثی-مستطیلی در ۲۶ مقطع آزمایشاتی انجام دادند و بر پایه تحلیل ابعادی، روابطی ساده و با دقت مناسب جهت محاسبه ضریب دبی در سرریز جانبی لبه تیز مرکب با زوایای راس ۶۰ و ۹۰ درجه ارایه کردند [۲].

در پژوهش رضایی و همکاران (۱۳۹۴) رابطه‌های دبی و ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی بررسی‌شده که با استفاده از آنالیز ابعادی رابطه‌ها استخراج و آزمایش‌های موردنیاز برای تعیین ضریب‌های ثابت رابطه‌ها روی مدل فیزکی انجام‌شده که داده‌های دبی، سرعت و ارتفاع آب بالادست اندازه‌گیری شده است که نتایج نشان داد رابطه‌ای که از اکثر پارامترهای مؤثر استفاده‌شده نتایج دقیق‌تری پیش‌بینی می‌کند و برای طراحی

پیشنهاد می‌شود که از ضریب‌های ثابتی که از کل داده‌ها محاسبه‌شده استفاده شود. برای ارتفاع آب بالادست ثابت، دبی سرریز کنگره‌ای حداکثر ۲/۶ برابر دبی سرریز مستقیم و در دبی ثابت، ارتفاع آب بالادست سرریز مستقیم ۱/۸ برابر سرریز کنگره‌ای است، بنابراین استفاده از سرریز کنگره‌ای برای مناطقی که محدودیت ارتفاع و دبی داریم پیشنهاد می‌شود [۴].

(لاکس ۱۹۹۳)، با انجام آزمایش‌هایی بر روی مدل فیزیکی سرریز کنگره‌ای، ضریب دبی عبوری از این سرریزها را به‌صورت تابعی از هد کل بالادست معرفی نمودند [۵]. اسماعیلی (۲۰۱۱) با بررسی آزمایشگاهی سرریزهای جانبی با تراز تاج متغیر، ضریب دبی این‌گونه سرریزها را موردمطالعه قرار داده و افزایش راندمان آن‌ها را نسبت به سرریزهای با تراز تاج ثابت نشان دادند [۶]. (کشاورز و همکاران ۲۰۱۱) و (اکبری و قدسیان ۲۰۱۱) به‌ترتیب ضریب آبگذری سرریزهای جانبی لبه‌تیز ذوزنقه‌ای و مثلثی را موردبررسی قراردادند. [۷ و ۸].

با توجه به سوابق مطالعات موجود، بیشتر کارهای انجام‌شده روی سرریز لبه‌تیز به صورت آزمایشگاهی بوده است، که به دلیل وجود محدودیت های اقتصادی، زمانی،و محدودیت در محاسبه همه پارامتر ها ما بر این شدیم مدل عددی آن را در Flow-3D شبیه‌سازی کنیم. در این تحقیق به بررسی جریان اطراف یک سرریز لبه‌تیز پرداخته‌شده و با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی حاصل از مدل‌عددی Flow-3D نتایج بهترین مدل به منظور پیش‌بینی جریان اطراف سرریز ارائه شده، در نهایت نیز به مقایسه نتایج حاصل از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی پرداخته شده است. سپس مشخصات هیدرولیکی جریان اطراف این سرریز در کانال مطالعه شد و همچنین ثابت شد که مدل عددی Flow-3D برای شبیه سازی جریان اطراف سرریز مناسب است و جواب منطقی به ما می‌دهد.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ معادلات حاکم

نرم‌افزار Flow-3D یک مدل مناسب برای حل مسائل پیچیده دینامیک سیالات می‌باشد و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل کند. این نرم‌افزار برای مدل کردن جریان‌های سطح آزاد سه بعدی غیر ماندگار با هندسه پیچیده کاربرد فراوانی دارد.

روشهای VOF[1] و FAVOR[2] مثال هایی از روش‌های جز حجمی هستند که در مدل Flow3D بکار می‌روند. هنگامی که جریان دارای سطح آزاد است از روش VOF استفاده می‌شود. روش FAVOR یکی از روش های جز حجمی است که از آن برای شبیه سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی استفاده می‌شود. معادله □-k شامل دو معادله انتقال برای انرژی جنبشی آشفتگی و اتلاف آن است. [۳]

عدد فرود نسبت نیروی اینرسی به نیروی جاذبه در حرکت یک سیال را نمایش می‌دهد که از رابطه(۱)حاصل می‌شود:

$$F_r^2 = \frac{\rho v^2 / l}{\gamma} \qquad (۱)$$

در رابطه(۱)، l طول جریان، v سرعت جریان، ρ چگالی سیال و γ عدد حاصل ضرب چگالی در شتاب گرانش است.

ضریب دبی در سرریزها به‌صورت معادله (۲) می‌باشد :

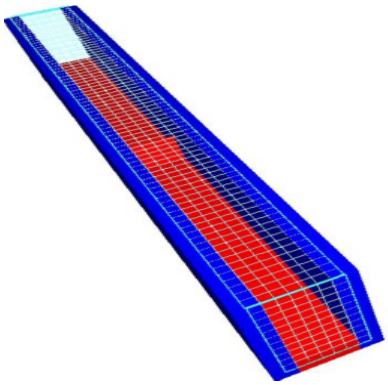
که C_d :ضریب دبی جریان و q دبی عبوری از روی سرریز در واحد عرض آن$(m^3/s.m)$ ، g شتاب ثقل (m/s^2) و H_1 ارتفاع تراز آب در بالادست بر حسب متر می‌باشد.

$$c_d = \frac{q}{g^{0.5}(\frac{2}{3}H_1)^{1.5}} \qquad (۲)$$

[1] Volume of Fluid
[2] Fractional Area-Volume Obstacle Representation

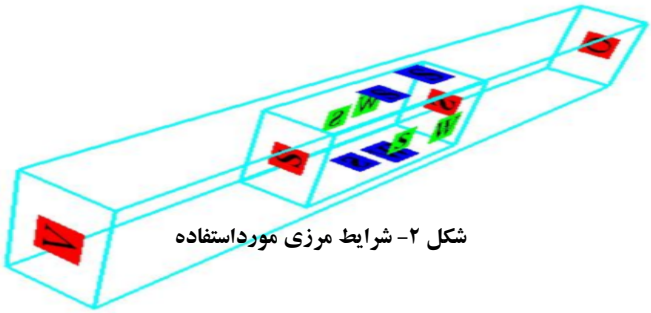
۲-۲ مدلسازی شرایط مرزی

جهت حصول به نتیجه دقیق تر و همچنین کاهش محاسبات در مقاطعی از کانال که اهمیت زیادی برای ما ندارند از دو گروه مش بندی استفاده شده است. مش بلاک اول به فاصله هر ۲ سانتیمتر در کل فلوم و مش بلاک دوم به فاصله هر ۵ میلیمتر در اطراف سرریز قرارگرفته است.شکل ۱ مش بندی درکانال را نشان می دهد.



شکل ۱- مش بندی کانال

شرایط مرزی در ورودی کانال جریان با سرعت و عمق معلوم (V)،در کنارهای مرز کانال، صلب (W)، در انتهای کانال به‌صورت ادامه‌دار (C)، در مرز بالا شرایط متقارن (S) و در کف شرط مرزی صلب (W)، تعریف گردیده است. این شرایط مرزی به صورت سه بعدی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- شرایط مرزی مورداستفاده

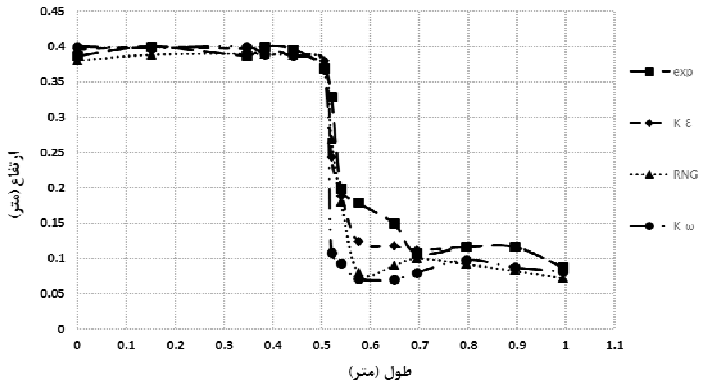
۳. نتایج و بحث

جهت بررسی توانایی مدل در روند شبیه‌سازی از نتایج آزمایشگاهی در فلومی از دیوار شیشه‌ای که طول فلوم، عرض و ارتفاع ان به ترتیب ۰/۲۵،۱۰ و ۰/۵ متر می‌باشد استفاده شده است.

شکل ۳- نمایش سه بعدی است از سرریز مدل شده در کانال

پس از مدل‌سازی و حل مدل در نرم‌افزار Flow-3D داده‌های دریافتی را با داده‌های موجود آزمایشگاهی مقایسه می‌کنیم .در شکل‌های ۴ ارتفاع سطح آزاد بدست‌آمده از مدل‌های مختلف آشفتگی در اطراف سرریز نمایش داده شده است و با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده اند. طبق داده

های جدول ۱ به این نتیجه می رسیم که مدل K-□ بهترین جواب را داده است، بنابراین این مدل بهترین مدل آشفتگی در بین این سه مدل بررسی شده است و همچنین می توان گفت نرم افزار Flow-3D برای شبیه سازی جریان اطراف سرریز لبه تیز مناسب و جواب های قابل قبولی به ما می دهد



شکل ٤- مقایسه سطح آزاد بدست آمده از مدل آشفتگی K-□، k-ω وRNG با داده‌های آزمایشگاهی در فاصله ۰/۵ متری قبل سرریز

جدول ۱- دقت مدل آشفتگی جهت صحت سنجی پروفیل سطح آزاد آب

مدل آشفتگی	R^2	MAE	RMSE
RNG	۰/۹۶	۰/۷۶	۰/۳۸
Les	۰/۸۳	۰/۴۶	۰/۷۶
k-ε	۰/۹۶	۰/۱۶	۰/۲۹

طبق داده های جدول ۲ و جدول ۳ در این جداول مقادیر ضریب آبگذری و دبی در حالات عددی و آزمایشگاهی مقایسه شده اند. می‌توان دید که اطلاعات بدست آمده از طریق نرم‌افزار به حد قابل قبولی نزدیک به جواب‌های آزمایشگاهی می‌باشد. خطاها ممکن است به دلیل ضعف در کار آزمایشگاهی و یا خطای نرم‌افزاری باشد. همچنین با توجه به اینکه مقدار عدد فرود کوچکتر از یک و مقدار رینولدز بزرگتر از ۲۰۰۰ است جریان ما زیر بحرانی و آشفته است.

جدول ۲- مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و عددی محاسبه شده با Flow3D مربوط به دبی، ضریب تخلیه سرریز، فرود و رینولدز

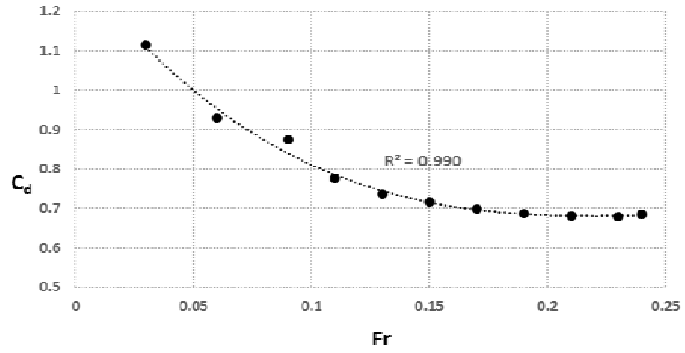
						q (lit/s/m)		Cd	
No	W (cm)	h (cm)	V (m/s)	Re	Fr	Exp.	Num.	Exp.	Num.
۱	۲۰	۲	۰/۴	۳۲۱۳/۷۶	۰/۲۷۲	۸/۸۷	۹/۳۲	۱/۶۲	۱/۱۱۶
۲	۲۰	۴	۰/۹	۷۵۲۷/۴۱	۰/۵۹	۲۱/۹۸	۲۱/۹۵	۰/۹۳	۰/۹۲۹
۳	۲۰	۶	۰/۱۵	۱۲۳۰۸/۴۳	۰/۹۴	۳۷/۹۱	۳۷/۹۲	۰/۸۷۴	۰/۸۷۳
۴	۲۰	۸	۰/۱۹	۱۵۹۹۰/۷۵	۰/۱۱۵	۵۱/۸۱	۵۱/۸۱	۰/۷۷۵	۰/۷۷۵
۵	۲۰	۱۰	۰/۲۳	۲۰۲۰۵/۷۸	۰/۱۳۴	۶۸/۷	۶۸/۸۲	۰/۷۳۶	۰/۷۳۷
۶	۲۰	۱۲	۰/۲۷	۲۴۶۶۲/۹۳	۰/۱۵۲	۸۷/۸	۸۷/۸۹	۰/۷۱۵	۰/۷۱۶
۷	۲۰	۱۴	۰/۳۲	۲۹۰۳۲/۲۶۵	۰/۱۷۵	۱۰۸	۱۰۸/۱۲	۰/۶۹۸	۰/۷
۸	۲۰	۱۶	۰/۳۶	۳۳۴۵۳/۶۲	۰/۱۹۲	۱۲۹/۸	۱۲۹/۸۴	۰/۶۸۷	۰/۶۸۷
۹	۲۰	۱۸	۰/۴	۳۷۹۹۵/۴	۰/۲۰۷	۱۵۳/۵	۱۵۳/۵۲	۰/۶۸۱	۰/۶۸۱
۱۰	۲۰	۲۰	۰/۴۵	۴۲۷۲۶/۲	۰/۲۲۷	۱۷۹/۴۵	۱۷۹/۴۵	۰/۶۷۹	۰/۶۸

۰/۶۸	۰/۶۸۴	۲۰۸/۵۲	۲۰۸/۵۱	۰/۲۴۶	۴۷۸۲۳/۳۸	۰/۵	۲۲	۲۰	۱۱

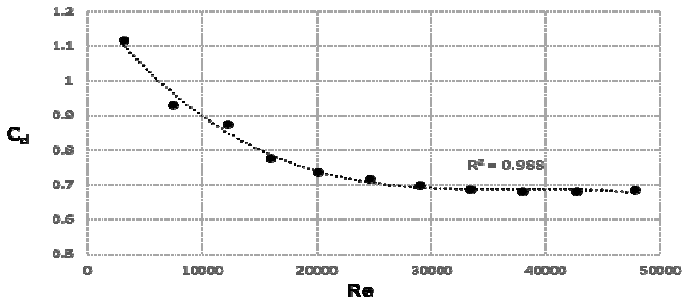
جدول ۳- دقت ضریب تخلیه و دبی آب‌گذری سرریز

	R^2	MAE	RMSE
Cd	۰/۹۹۳	۰/۲۶	۰/۱۶۲
q	۰/۹۹۹	۰/۲۹۱	۰/۱۷

با توجه به نتایج نشان داده شده در شکل های ۵ و ۶ می‌توان این‌طور گفت که با افزایش فرود و رینولدز ضریب دبی کاهش می‌یابد و به سمت عدد ثابتی میل می‌کند.

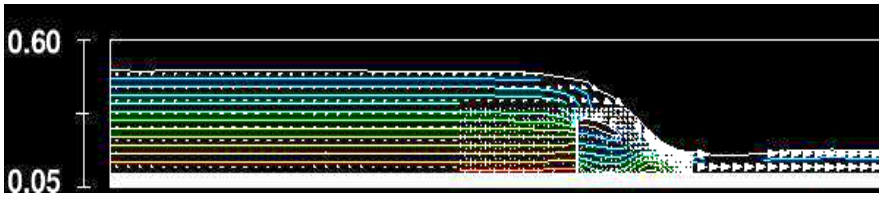


شکل ۵ – نمودار مقادیر عددی ضریب تخلیه سرریز نسبت به عدد فرود

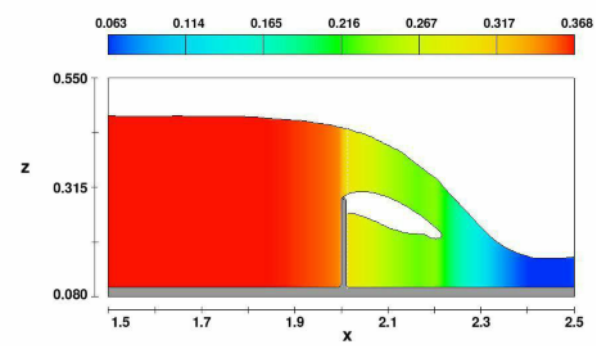


شکل ٦ – نمودار مقادیر عددی ضریب تخلیه سرریز نسبت به رینولدز

در شکل ۷ خطوط جریان در اطراف سرریز در حالت سرریز قائم نشان داده شده است که مشاهده میشود در بالادست سرریز جریان به صورت خطوط موازی جاری است و با رسیدن به سرریز این خطوط جهت عبور از سرریز به یکدیگر نزدیک تر و فشرده شده اند. همچنین در شکل ۸ پروفیل سطح آب مورد بررسی قرار گرفت.

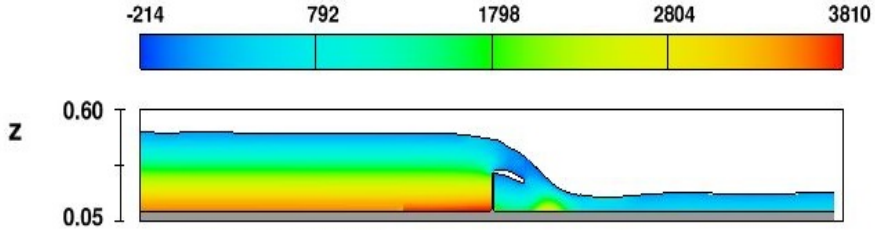


شکل ۷ – خطوط جریان اطراف سرریز

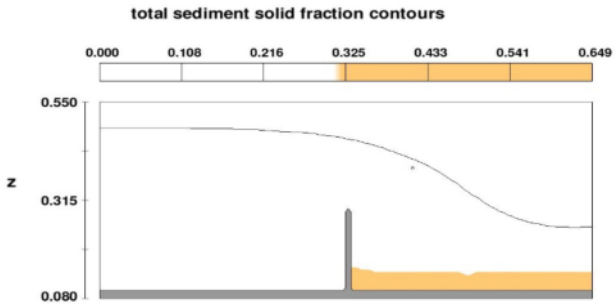


شکل۸ – پروفیل سطح آب

طبق شکل ۹ فشار در پشت سرریز دارای مقداری مثبت و بیشترین فشار ۳/۸ کیلوپاسکال است که به دلیل ارتفاع زیاد آب در آن مقطع به کف کانال وارد می‌شود و همین‌طور در کف پایین دست سرریز، اطراف سرریز دارای فشار منفی است که باعث آبشستگی می‌شود که این آبشستگی در شکل ۱۰ مشاهده میشود.



شکل ۹ –تغییرات فشار در اطراف سرریز



شکل ۱۰- آبشستگی اطراف سرریز

۴. نتیجه

با توجه به نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان گفت:

۱- نرم‌افزار Flow-3D قابلیت خوبی در شبیه‌سازی سرریز لبه‌تیز دارد و جواب‌های قابل قبولی به ما می‌دهد که می‌توان بجای کار ازمایشگاهی پرهزینه و وقت گیر از شبیه‌سازی های عددی استفاده گردد.

۲- با توجه به نتایج بدست آمده عددی و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی، مدل آشفتگی k-ε بهترین مدل برای این شبیه سازی معرفی گردید.

۳- مقدار ضریب آبدهی با توجه به افزایش عدد فرود و رینولدز به تدریج کاهش پیدا کرده و به عددی ثابت نزدیک میشود.

۴- در بالادست سرریز به دلیل عمق زیاد، فشار دارای مقداری مثبت و بزرگ است اما در پایین دست سرریز دارای مقداری منفی خواهد بود که باعث آبشستگی در آن ناحیه میشود.

۵. مراجع

۱- حیدرپور, همکاران. "مطالعه جریان همزمان از زیر یک دریچه کشویی و روی یک سرریز لبه تیز ذوزنقه‌ای." مجله علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی-دانشگاه صنعتی اصفهان. ۱۸,۶۸ (۲۰۱۴): ۱۴۷-۱۵۶.

۲- عامری, مجتبی,همکاران. "تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مثلثی-مستطیلی." مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک ۲۲,۳ (۲۰۱۵): ۱۰۵-۱۲۰.

۳- فرزین سعید، همکاران." بررسی تغییرات سرعت جریان در سرریز استوانه‌ای با استفاده از CFD" دهمین سمینار بین المللی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۴

4- Rezaiy. M., Gh. Aghajani Mazandarani. 2015. Laboratory study overflow rectangular Congress. . Journal of Water and Soil Science, 29(9): 1438-1446 (in Persian).

5- Lux, F. 1993. Design methodologies for labyrinth weirs. Proc. of water power and dam construction: 1379-1407.

6- Esmaiyli varaki, M., M. Safarrazavizadeh. 2013. Study on hydraulic characteristics of flow over spillways Congress with semicircular plan. Journal of Water and Soil Science, 27(1): 224-234 (in Persian).

7- Keshavarz, Z., Rahimpour, M., and Ahmadi, M.M. 2011. Study of hydraulic characteristics of trapezoidal sharp crested side weirs. In: 6 th National Congress on Civil Engineering, Semnan University, Semnan. (In Persian).

8- Akbari, R., and Ghodsian, M. 2011. Determination of discharge coefficient in triangular side weirs. In: 10th Iranian Hydraulic Conference, Gilan University, Rasht. (In Persian)