نشریه دانش آب و خاک/ جلد 22 شماره 2/ سال 1391

بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی در سازه ترکیبی سرریز - روزنه در شرایط سیلابی

بهنام بلوچی[1*] و مهدی زینی‌وند[2]

تاریخ دریافت: 90/10/17 تاریخ پذیرش: 91/1/26

1- دانشجوی دکترا، عمران- آب، دانشگاه شیراز

2- دانشجوی دکترا، سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبه: Email: Behnamm_1988@yahoo.com

چکیده

سازه ترکیبی سرریز- روزنه به دو منظور اندازه‌گیری دبی جریان و جلوگیری از انباشته شدن رسوبات در پشت سرریز بکار می‌رود. ترکیب سرریز با روزنه باعث ایجاد تغییراتی در ضریب دبی می‌گردد. در تحقیق حاضر با طراحی و ساخت پنج مدل ترکیبی سرریز مثلثی لبه تیز- روزنه مستطیلی، تاثیر پارامترهای هیدرولیکی از جمله فشار آب روی سرریز (h) و پارامترهای هندسی از جمله ارتفاع روزنه (d)، عرض روزنه (b) و فاصله بین بالای روزنه تا راس مثلث (y) بر ضریب دبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که ضریب دبی با افزایش نسبت‌های بی‌بعد h/d، h/b و h/y کاهش می‌یابد و مدل ترکیبی بیشتر عملکردی شبیه به روزنه دارد. همچنین رابطه‌ای جهت تخمین ضریب دبی جریان با $R^2=0.97$ ارائه گردید. تحلیل حساسیت رابطه نشان داد که نسبت بی بعد h/y دارای بیشترین حساسیت و تاثیر می‌باشد. رابطه ارائه شده در این تحقیق با برخی معادلات ذکر شده در سایر مقالات مقایسه گردید که ضمن نشان دادن دقت این رابطه، محدوده‌های مشترک در سایر تحقیقات را نیز مشخص نمود.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، سرریز مثلثی- روزنه مستطیلی، شرایط سیلابی، ضریب دبی

Archive of SID

www.SID.ir

Experimental Investigation on Discharge Coefficient for Combined Structure of Weir-Gate under Flood Conditions

B Balouchi[1*], M Zinivand[2]

Received: January 7, 2012 Accepted: April 14, 2012
[1]PhD Student, Civil Engineering, Univ of Shiraz, Iran
[2]PhD Student, Hydraulic Structures, Univ. of Shahid Chamran, Iran
*Corresponding author: Email: Behnamm_1988@yahoo.com

Abstract

Combined structure of weir-gate is used in order to measure both flow rate and to prevent accumulation of sediment behind the weir. Combining weir with gate leads to alterations in discharge coefficient. In the current study, five models of combined structure of triangular sharp crested weir-rectangular gate were designed and constructed, and then the effects of hydraulic parameters such as flow depth above the weir crest (h) and geometric parameters such as gate height (d), gate width (b) and the vertical distance between the lower edge of (y) on the discharge coefficient were investigated. The discharge coefficient was found to be inversely proportional to h/d, b/d and h/y. The results indicated that the combined structures were functionally similar to the gate and a regression equation with $R^2 = 0.97$ was developed to predict discharge coefficient. The sensitivity analysis showed that the equation was more sensitive to h/y. The presented equation was compared with those introduced in the literature indicating the accuracy of the developed equation and the shared ranges for using the equations with other studies.

Keywords: Discharge coefficient, Flood conditions, Sensitivity analysis, Structure of triangular weir-rectangular gate.

Archive of SID

مقدمه

به منظور بهینه سازی مصرف آب، مدیریت و حفاظت از منابع آب نقش به سزایی دارد و در این راستا اندازه گیری دقیق دبی جریان نقش اصلی را ایفا می‌کند. به این منظور سازه‌های مختلفی به کار می‌رود که معمول ترین آنها سرریزها و روزنه‌ها می‌باشند. سرریز مثلثی نوع خاصی از سرریزهای لبه تیز می‌باشد که دقت بالایی در اندازه‌گیری دبی جریان داشته و حتی برای دبی‌های کم نیز جواب قابل قبولی ارائه می‌دهد. از جمله تحقیقاتی که در زمینه جریان در روزنه‌ها انجام شده است می‌توان به تحقیقات راجارتنام (1977)، فرنچ (1986) و سوامی (1992) اشاره نمود. در ارتباط با جریان از روی سرریزها نیز می‌توان به تحقیقات سوامی (1988) ، باس (1989) و مانسون و همکاران (1994) اشاره نمود. در مناطقی که سرریز در مسیر رودخانه‌ها و کانال‌های باز با بستر رسوبی قرار دارد، با گذشت زمان مواد رسوبی در پشت سرریز ته نشین می‌شوند و ارتفاع موثر بالادست سرریز را کاهش

www.SID.ir

می‌دهد، در نتیجه از کارایی سرریز می‌کاهد. ایسرالسن و هانسن (1962) آزمایش گسترده‌ای در این زمینه انجام دادند. در آزمایشات آنها مشاهده گردید هنگامی که 75 درصد ارتفاع سرریز را رسوب پر نماید حدود 8 درصد افزایش در مقدار دبی جریان ایجاد می‌گردد. جهت جلوگیری از تجمع رسوبات و کاهش راندمان سرریز، محققین سازه ترکیبی سرریز- روزنه را معرفی نمودند. سازه ترکیبی سرریز- روزنه به دو منظور اندازه گیری دبی جریان و جلوگیری از انباشته شدن رسوبات در پشت سرریز بکار می‌رود. در زمینه انواع سازه‌های ترکیبی سرریز-روزنه، تحقیقات مختلفی انجام شده است. از جمله نگم (1995) در مورد خصوصیات جریان ترکیبی آزاد بر روی سرریز مستطیلی روی روزنه مستطیلی با انقباض جانبی متفاوت را بررسی کرد و در این خصوص رابطه‌ای ارائه نمودند.

السعید و همکاران (1994) اندازه گیری جریان ترکیبی با دبی زیاد را در کانالهای آبیاری مورد بررسی قرار داد. وی تحقیقات خود را برای سرریز مستطیلی بالای روزنه مثلثی و بالعکس انجام داد. وی یکی از معادلات تخمین دبی برای هر دو سیستم را به صورت زیر ارائه نمود:

$$\frac{Q_c}{\sqrt{2g}\,d^{2.5}} = -5.119 + 1.475\left(\frac{H+h}{d}\right) - 2.531\left(\frac{h}{b}\right) + 0.367\left(\frac{b}{b_1}\right) + 1.2698q \qquad [1]$$

که در آن Q_c دبی مدل ترکیبی، H عمق آب بالادست مدل، h فشار آب روی سرریز، b عرض بالایی سرریز، d ارتفاع روزنه، b_1 عرض پایینی روزنه و θ زاویه راس سرریز مثلثی یا روزنه مثلثی می‌باشد. همچنین وی نشان داد که ترکیب سرریز مثلثی و روزنه مستطیلی بازدهی بهتری نسبت به ترکیب سرریز مستطیلی در بالای روزنه مثلثی دارد.

نگم و همکاران (1997) اثر میزان استغراق پایین دست مدل را روی دبی جریان مورد بررسی قرار داده و برای جریان سرریز مثلثی بر روی روزنه مستطیلی فشرده و همچنین روزنه مستطیلی فشرده بر روی سرریز مثلثی معادلاتی در حالت مستغرق و با محدودیت‌های خاصی استخراج کردند. همچنین ایشان نشان دادند که نسبت استغراق روزنه بر روی ارتفاع آب بالادست و میزان دبی عبوری موثر است؛ بطوریکه هرگاه میزان عمق استغراق پایین دست بیشتر شود ارتفاع آب بالادست افزایش و دبی عبوری از مدل کاهش می‌یابد.

الحمید و همکاران (1997) درباره خصوصیات جریان آزاد ترکیبی از روی سرریز مثلثی و روزنه مستطیلی با فشردگی جانبی تحقیقاتی انجام داد. وی پیشنهاد داد که مدل سرریز- روزنه را یک روزنه فرض کرده و ضریب دبی کل سیستم سرریز-روزنه مشابه روزنه تعریف گردد. بنابراین برای این سیستم ترکیبی رابطه زیر را ارائه نمود:

$$Q_c = \left[0.84 + \frac{2.41\tan(\frac{q}{2})^{0.498}(\frac{h}{B})^{1.56}}{(\frac{H}{y})^{1.76}(\frac{d}{d+y})^{0.325}(\frac{b}{B})^{0.522}}\right]^4 \qquad [2]$$

$$*A_g\sqrt{2gH}$$

که در آن A_g سطح روزنه، B عرض کانال، d ارتفاع روزنه و y فاصله بین بالای روزنه تا راس سرریز مثلثی می‌باشد. سایر پارامترها نیز پیشتر توضیح داده شده‌اند. در رابطه بالا محدودیت‌های زیر حاکم است:

$$30 < q < 90 \quad ، \quad 0.17 < \frac{b}{B} < 0.5 \quad ، \quad 0.3 < \frac{y}{H} < 0.7$$

$$H > (d+y) \quad ، \quad 0.35 < \frac{d}{d+y} < 0.5$$

همچنین نگم (2000) به شبیه سازی مدل ترکیبی سرریز- روزنه در حالت مستغرق پرداخت و رابطه‌ای را در شرایط محدود ارائه نمود. سپس با ترکیب اطلاعات آزمایشاتی که در این زمینه انجام داده بود توانست معادله فوق را برای جریان آزاد نیز تعمیم دهد. رابطه زیر برای جریان آزاد و مستغرق ارائه شده است:

$$\frac{Q_c}{\sqrt{2gd^{25}}} = -4.668 - 0467(S) - 7.759\left(\frac{h}{P}\right) + 4.891\left(\frac{H}{d}\right) - 0.235\left(\frac{b}{b_1}\right) + 0.233\left(\frac{b}{d}\right) + 6.75\left(\frac{b_1}{d}\right) - 4.839\left(\frac{y}{d}\right) \qquad [3]$$

Archive of SID
www.SID.ir

پارامترهای جدید رابطه فوق S یا نسبت عمق پایاب به بازشدگی روزنه و p ارتفاع سرریز می‌باشد. مقدار s برای جریان آزاد واحد فرض شده است.

نگم و همکاران (2002) مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی سرریز و روزنه لبه تیز مستطیلی انجام داد. وی این مدل را با بعدهای مختلف هندسی در شرایط مختلف آنالیز کرد. آزمایشات در شیب افقی کم و تند تکرار شدند و در نهایت به این نتیجه رسید که برای هر سه حالت می توان معادله زیر را در نظر گرفت:

$$\frac{q_c}{\sqrt{2g}d^{1.5}} = -0.3863 + 0.8764(\frac{H}{d}) - 0.1494(\frac{h}{b}) - 0.7341(\frac{y}{d}) \quad [4]$$

در رابطه فوق q_c دبی در واحد عرض می‌باشد ($q_c=Q/b$).

رضویان و حیدرپور (1386) نتایج آزمایشگاهی بدست آمده از شدت جریان عبوری برای جریان همزمان از روی سرریز ذوزنقه‌ای و زیر روزنه مستطیلی بدون فشردگی در حالت لبه تیز را با نتایج ناشی از تئوری جریان در سیستم سرریز-روزنه مورد تحلیل قرار دادند. همچنین ایشان با بررسی پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مدل ترکیبی سرریز- روزنه و با آنالیز ابعادی فرمولی خطی جهت محاسبه ضریب دبی برای محدوده خاصی ارائه نمودند. ایشان با مقایسه تغییرات ضریب شدت جریان در برابر پارامترهای بی بعد به این نتیجه رسیدند که با افزایش هر یک از پارامترهای بی بعد و با فرض ثابت ماندن سایر پارامترها، ضریب شدت جریان افزایش می‌یابد. در این آزمایشات مقادیر ضریب شدت جریان در محدوده 0/53 تا 0/77 با متوسط 0/65 قرار داشتند. سامانی و مظاهری (2009) بر اساس معادله‌های ریاضی توانستند یک مدل ریاضی پیشنهاد دهند تا دبی در را در این سازه ترکیبی تخمین بزنند. همچنین اسماعیلی و فتحی مقدم (1385) به بررسی مدل ترکیبی سرریز مستطیلی- روزنه در کانال‌های دایروی آب و فاضلاب پرداختند. ایشان نشان دادند که ضریب شدت جریان سرریز و روزنه در برابر نسبت های بدون بعد پارامترهای هیدرولیکی از روند مشخصی تبعیت نمی نماید. ایشان ضریب شدت جریان سرریز را در محدوده 0/4 تا 0/85 و ضریب شدت جریان روزنه را در محدوده 0/52 تا 0/72ارائه نمودند.

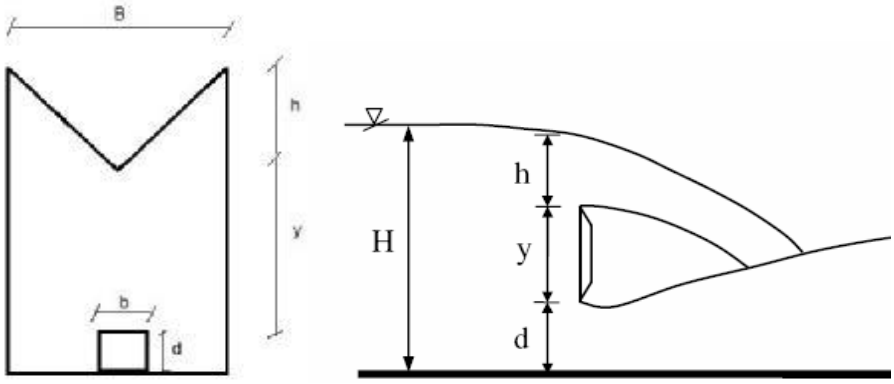
هدف از تحقیق حاضر، طراحی و ساخت پنج مدل ترکیبی سرریز مثلثی-روزنه مستطیلی با ابعاد مختلف روزنه و بررسی تاثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب دبی جریان در مدل ترکیبی می باشد تا ضمن پر کردن فضاهای خالی تحقیقات گذشته و گسترش محدوده های اندازه گیری، روابطی برای برآورد ضریب دبی ارائه شود. در نهایت با توجه به تغییراتی که ممکن است در شرایط سیلابی پیش آید، روشی جهت تخمین ابعاد مناسب بازشدگی روزنه ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده است؛ تعداد پنج مدل ترکیبی سرریز- روزنه از جنس پلاکسی گلاس به ضخامت 10 میلی‌متر طراحی و ساخته شدند. قسمت سرریز این مدل‌ها از نوع مثلثی با ضخامت تاج 2 میلی متر و با زاویه 60 درجه و روزنه آنها مستطیلی می‌باشند. شکل شماتیک 1 بیانگر جزئیات نمونه‌ای از مدل‌های ساخته شده و جدول 1 بیانگر ابعاد مدل‌های ساخته شده می‌باشند. در تحقیق حاضر تعداد 55 آزمایش انجام شده است که محدوده این آزمایشات برای نسبت‌های بی‌بعد h/b در حدود 0/9 تا 3/6، h/y در حدود 0/17 تا 0/75، h/d در حدود2/6 تا 12/16، b/d در حدود 1 تا 4، y/d در حدود 4/2 تا 19/8، (H+h)/d در حدود 5/8 تا 46 و d/(d+y) در حدود 0/045 تا 0/18 می‌باشد. با توجه به محدوده نسبت‌های بی‌بعد تحقیق حاضر و تحقیقات ذکر شده در قسمت مقدمه، ملاحظه می‌گردد که بیشترین مغایرت محدوده‌های ارائه شده مربوط به نسبت بی‌بعد y/d می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 1- پارامترهای موثر در سازه ترکیبی سرریز- روزنه.

جدول 1- ابعاد مدل‌های سرریز- روزنه.

شماره مدل	ابعاد مدل (cm)			
	d	b	y	B
1	0	0	26	25
2	1/25	5	24/75	25
3	2/5	5	23/5	25
4	3/75	5	22/25	25
5	5	5	21	25

در این تحقیق مدل‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی به طول 11 متر، عرض 25 سانتی متر و ارتفاع مفید 50 سانتی متر در مسیر جریان قرار گرفتند. مخزن اصلی تـأمین کننده آب در آزمایشگاه، یک مخزن زیر زمینی بوده و آب در یک چرخه به وسیله الکتروپمپ به داخل مخزن نگهدارنده ارتفاع آب پمپاژ شده و پس از ایجاد ارتفاع آب مورد نیاز (که با پر شدن مخزن بار ثابت حاصل می گردد) برای برقراری یک دبی ثابت، وارد کانال می‌شود. دبی سیستم به کمک سرریز مثلثی استاندارد شده 53 درجه اندازه گیری می‌گردید. اندازه گیری تراز سطح آب به وسیله یک عمق یاب مجهز با درجه دقت 0/1 میلیمتر انجام می‌گرفت. از آنجایی که جریان آزاد بود، در این آزمایشات فقط عمق آب بالادست مدل و دبی جریان اندازه گیری می‌شد. لازم به ذکر می‌باشد که مدل‌های ترکیبی ساخته شده همانگونه که در شکل 1 نشان داده شده است، هم عرض کانال بوده است (بدون فشردگی جانبی) و در هیچکدام از آزمایشات آب به طور کامل عرض سرریز را نمی‌پوشاند لذا هواگیری تاثیر قابل ملاحضه‌ای بر ظرفیت جریان ریزشی ندارند (باس 1989). علاوه بر این، فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده دارای مکانی جهت نصب سرریز لبه تیز بوده که با نصب سرریز در آن محل عمل هواگیری نیز انجام می‌گردد.

مبانی تئوری

سـازه سـرریز- دریچـه مـی‌توانـد ترکیبـی از خصوصیات سرریز و دریچه بـه صـورت مـستقل و یـا خصوصیات هیدرولیکی مـشابه آن دو را دارا باشـد. در حالت کلی تئوری معادلات ارائه شده برای سرریز مثلثی به صورت زیر می‌باشد:

Archive of SID

www.SID.ir

$$Q_W = (\frac{8}{15}\sqrt{2g})C_{de}\left(\tan\frac{q}{2}\right)H_{de}^{\frac{5}{2}} \qquad [5]$$

که در آن C_{de} ضریب دبی برای سرریز می‌باشد و Hd_e نیز از رابطه زیر که در آن H_d بار روی سرریز و K_H ضریب اصلاحی محاسبه شده از گراف است، بدست می آید (حسینی و ابریشمی 1385):

$$H_{de} = H_d + K_H \qquad [6]$$

از طرفی رابطه 7 نیز برای دبی عبوری از روی روزنه مستطیلی ارائه شده است:

$$Q_g = C_{dg}\,dB\sqrt{2gH} \qquad [7]$$

که در آن C_{dg} ضریب دبی برای روزنه مستطیلی، d و B نیز ابعاد روزنه و H بار آبی روی روزنه می‌باشد.

در حالت ترکیب سرریز و روزنه، رابطه 8 و 9 را می‌توان با ترکیب رابطه 5 و 7 نتیجه گرفت :

$$Q_t = Q_{total} = Q_w + Q_g \qquad [8]$$

$$Q_t = (\frac{8}{15}\sqrt{2g})C_{de}\left(\tan\frac{q}{2}\right)H_{de}^{\frac{5}{2}} + C_{dg}\,dB\sqrt{2gH} \qquad [9]$$

از طرفی با استفاده از آنالیز ابعادی می‌توان دبی سازه ترکیبی را وابسته به متغیرهای هندسی، سینماتیکی، و دینامیکی زیر دانست:

$$f(Q_t, g, h, \mu, \theta, \sigma, \rho, v, d, b, y, B)=0 \qquad [10]$$

که در آن Q_t دبی کل سازه ترکیبی، g شتاب ثقل، h هد آب روی سرریز، μ ویسکوزیته دینامیکی سیال، θ زاویه راس سرریز مثلثی، σ نیروی کشش سطحی، ρ جرم حجمی سیال، v سرعت سیال، d ارتفاع روزنه، b عرض روزنه، y فاصله بالای روزنه تا راس سرریز مثلثی و B عرض کل سرریز می باشد. در این حالت 12 پارامتر مستقل با 3 کمیت اصلی (طول، جرم و زمان) وجود دارد و از آن 9 متغییر بدون بعد زیر حاصل می‌گردد.

$$q_L = \frac{Q_t}{\sqrt{g}\,h^{2.5}} = f\,(\mathrm{Re}, We, Fr, q, \frac{h}{d}, \frac{h}{y}, \frac{h}{b}, \frac{h}{B}) \qquad [11]$$

که در آن Re ، We ، Fr به ترتیب عدد رینولدز، وبر و فرود می باشند. به دلیل اینکه تیغه آب بر روی سازه سرریز- روزنه دارای ضخامت کافی بوده از اثر کشش سطحی (عدد وبر) صرفنظر شده است. در رابطه فوق عدد رینولدز چون در محدوده بالایی است بنابراین از تاثیر لزجت چشم پوشی می شود. همچنین با توجه به اینکه در تحلیل ابعادی پارامتر دبی نماینده پارامتر سرعت نیز می‌باشد و در سرریزها عدد فرود در ضریب دبی نیز مستتر است، عدد فرود نیز در رابطه نهایی حذف گردیده است. q_L دبی بی بعد شده و Q_t دبی در حالت ترکیب سرریز- روزنه می باشد که با فرض ضریب دبی(C_d) ، B و θ یکسان برای حالت سرریز و روزنه می توان نوشت:

$$q_L = C_d = f(\frac{h}{d}, \frac{h}{b}, \frac{h}{y}) \qquad [12]$$

در ادامه به بررسی و مقایسه تاثیر هر یک از این پارامترهای بی بعد بر ضریب دبی جریان (C_d) یا دبی بی‌بعد (q_L) در 5 سازه ترکیبی سرریز- روزنه پرداخته شده است.

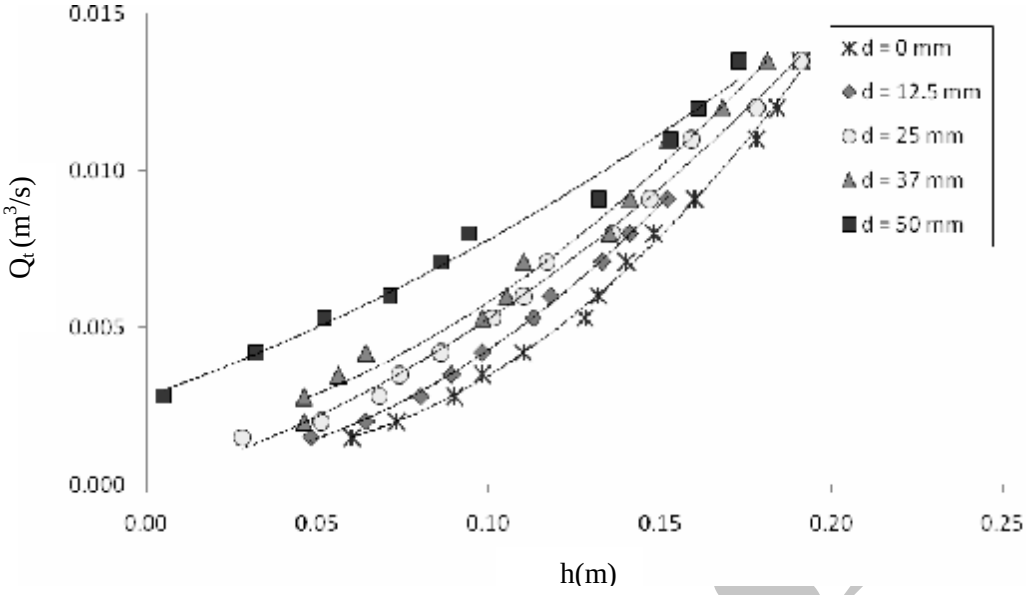
نتایج و بحث

شکل 2 روند تغییرات فشار آب روی سازه ترکیبی، در مقابل دبی کل را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل مشخص است، در مقادیر ثابت d، با افزایش هد آب مقادیر دبی کل جریان افزایش می‌یابد. همچنین در مقادیر ثابت فشار آب، با افزایش d مقادیر دبی کل جریان نیز افزایش می‌یابد. علت امر این می‌باشد که با افزایش دبی کل، سهم دبی سرریز و روزنه افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه هد آب بیشتر می‌گردد.

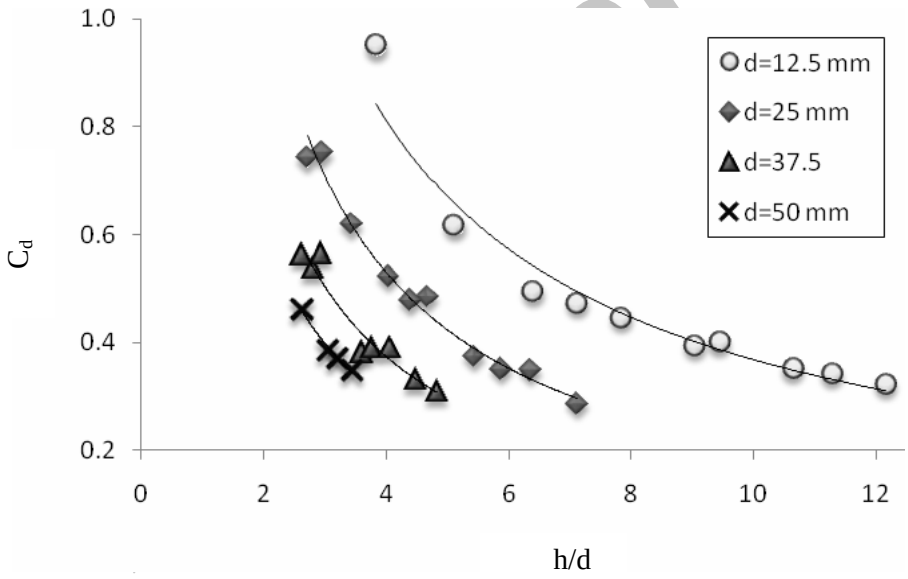
شکل 3 تغییرات ضریب دبی کل جریان در مقابل نسبت h/d را نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل مشخص است؛ در مقادیر ثابت d، با افزایش h/d میزان ضریب دبی کاهش یافته است. با توجه به رابطه11، ضریب دبی کل جریان متناسب با دبی جریان و $h^{-2.5}$ می‌باشد. به طور مثال با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده، برای دبی 0/008 و 0/0042 مترمکعب بر ثانیه فشار آب روی سرریز در مدل ترکیبی به ترتیب برابر 0/141 و 0/098 متر می‌باشد. در نتیجه تغییرات $h^{-2.5}$ و تغییرات دبی جریان برای این 2 آزمایش، به ترتیب برابر 2608 $^{-2/5}$(متر) و 0/0038 مترمکعب بر ثانیه می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 2- روند تغییرات h در مقابل Q_t برای همه مدل‌ها.



شکل 3- تغییرات C_d در مقابل نسبت بی بعد h/d برای همه مدل‌های ترکیبی.

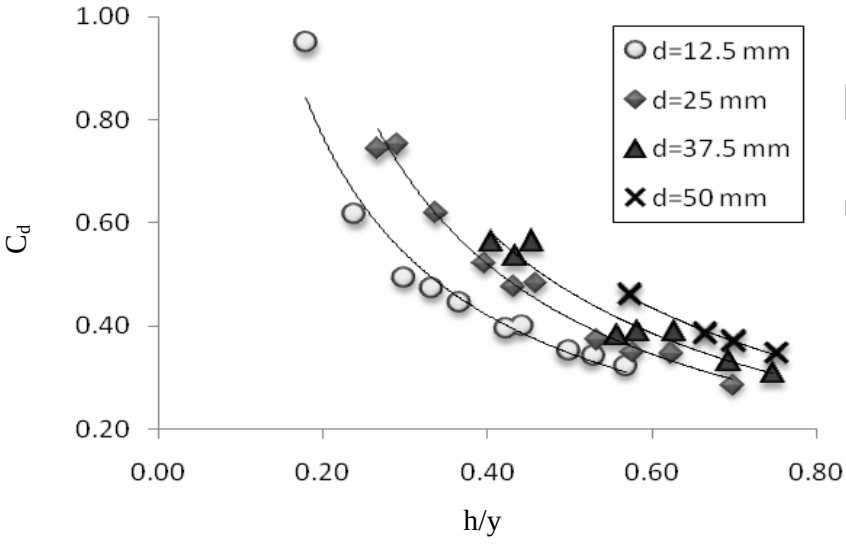
از اینرو و با توجه به داده‌های اندازه گیری شده، تغییرات فشار آب بیشتر از تغییرات دبی کل جریان بر ضریب دبی تاثیر گذار می‌باشد. به همین دلیل ضریب دبی با افزایش فشار آب در اثر افزایش دبی، کاهش می‌یابد.

با تحلیل داده‌ها و انجام محاسبات مربوطه ضریب دبی بدست آمده در آزمایشات برای مدل سرریز در محدوده 0/26 تا 0/54 و برای مدل‌های ترکیبی در محدوده 0/28 تا 0/93 قرار گرفت. بیشتر بودن ضریب دبی مدل ترکیبی نسبت به مدل سرریز به علت وجود روزنه در مدل ترکیبی می‌باشد. در نتیجه مدل ترکیبی سرریز مثلثی- روزنه مستطیلی بیشتر عملکردی شبیه روزنه دارد. شکل 4 تغییرات ضریب دبی مدل ترکیبی در مقابل نسبت h/y را نشان می‌دهد. در مقادیر ثابت d،

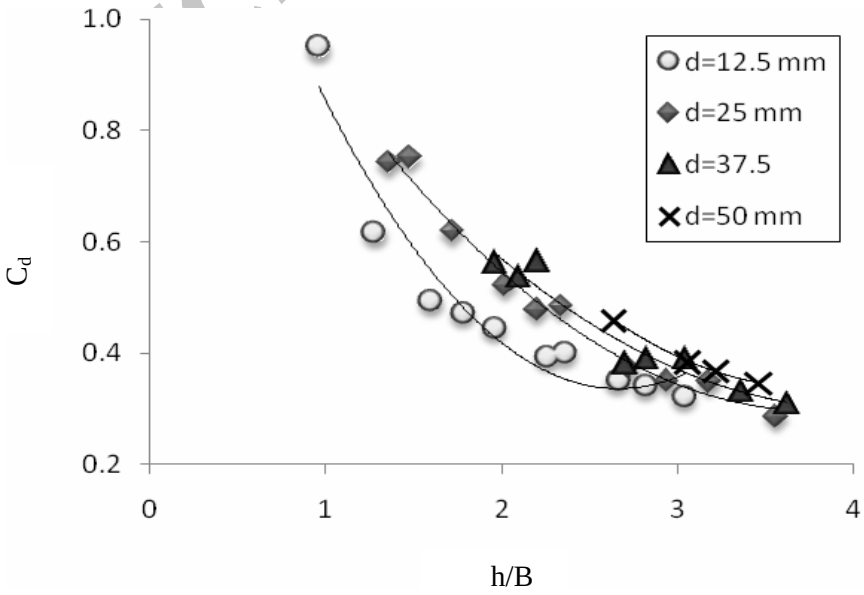
www.SID.ir

با افزایش نسبت h/y مقادیر ضریب دبی کاهش می‌یابد. هنگامی که d ثابت باشد، y نیز ثابت است. در نتیجه با افزایش نسبت h/y در واقع هد آب و به عبارت دیگر دبی عبوری از روی سرریز افزایش پیدا کرده است. بنابراین با افزایش دبی عبوری از سرریز و به علت شباهت مدل ترکیبی به مدل روزنه، ضریب دبی مدل ترکیبی نیز کاهش می‌یابد.

شکل 5 تغییرات ضریب دبی مدل ترکیبی در مقابل نسبت h/b را نشان می دهد. در مقادیر ثابت d، با افزایش h/b، ضریب دبی کاهش می‌یابد. به دلیل اینکه در همه مدل‌های ترکیبی عرض روزنه ثابت در نظر



شکل 4- تغییرات C_d در مقابل نسبت بی بعد h/y برای همه مدل‌های ترکیبی.



شکل 5- تغییرات C_d در مقابل نسبت بی بعد h/b برای همه مدل‌های ترکیبی.

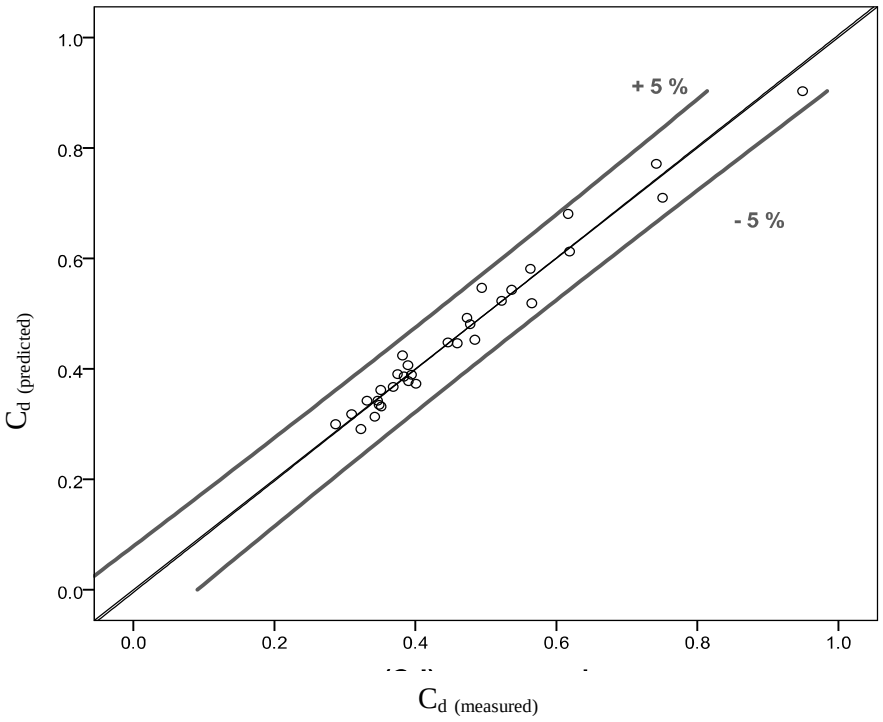
www.SID.ir

شده است؛ در نتیجه نسبت بی‌بعد h/b در واقع نماینده پارامتر h می‌باشد. همانطور که پیشتر توضیح داده شد؛ به علت تشابه مدل ترکیبی به مدل روزنه، با افزایش هد آب ضریب دبی مدل ترکیبی کاهش می‌یابد.

در نهایت با تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده و با استفاده از نرم افزار SPSS18 و تشکیل رگرسیون غیرخطی چند متغیره می‌توان رابطه 13 را برای ضریب دبی مدل ترکیبی با R^2 =0/97 (در محدوده ذکر شده در بخش مواد و روش‌ها) ارائه نمود:

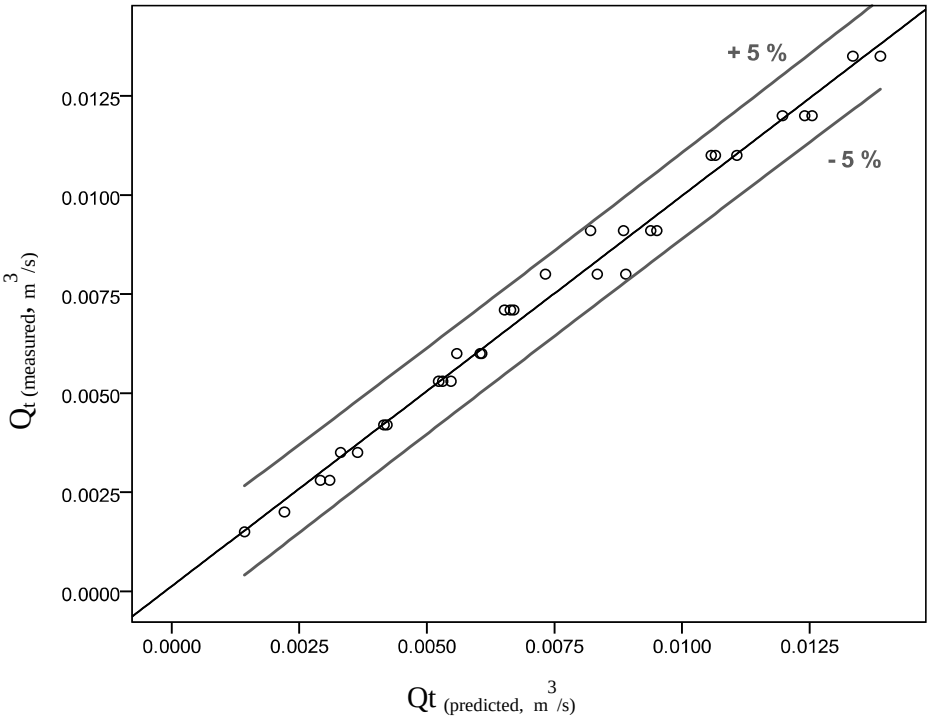
$$C_d = 0.127(\frac{h}{d})^{-0.367}(\frac{h}{b})^{0.834}(\frac{h}{y})^{-1.449} \quad [13]$$

شکل 6 مقادیر ضریب دبی مدل ترکیبی محاسبه شده از رابطه 13 در مقابل ضریب دبی مشاهداتی را نشان می دهد. همچنین با جایگذاری مقادیر ضریب دبی در رابطه 11، مقادیر دبی کل جریان (Q_t) محاسبه و در برابر مقادیر دبی کل مشاهده شده در آزمایشگاه در شکل 7 ترسیم گردید. همانطور که در شکل 6 و 7 مشاهده می‌گردد، همه داده‌ها در محدوده خطوط سطح اطمینان 95% قرار دارند؛ که نشان‌دهنده دقت بالای روابط رگرسیون غیر خطی می‌باشد.



شکل 6- مقادیر C_d محاسباتی در مقابل C_d مشاهداتی

www.SID.ir



شکل 7- مقادیر دبی محاسباتی در مقابل دبی مشاهداتی

تحلیل حساسیت رابطه ارائه شده

تحلیل حساسیت، درجه حساسیت یک مدل را به پارامترهای ورودی آن نشان می‌دهد. این روش تاثیرپذیری مدل و شرایط واقعی را از داده‌های ورودی مورد بررسی قرار می‌دهد. اگر تغییرات یکی از پارامترهای ورودی تاثیر زیادی بر داده‌های خروجی مدل داشته باشد، می‌توان چنین استنباط کرد که آن پارامتر تاثیر فراوانی بر نتایج مدل دارد و در نتیجه باید آن پارامتر را با دقت بیشتری اندازه گیری نمود. در این روش با تغییر دادن مقدار یک پارامتر در محدوده 50%+ و 50%- مقدار واقعی آن، در حالی که مقادیر بقیه پارامترها ثابت می‌باشند مقدار خروجی برای دو مقدار تغییر یافته از فرمول محاسبه و شاخص حساسیت پارامتر تغییر یافته از رابطه 15 محاسبه می‌گردد. به همین ترتیب برای سایر پارامترها این روش اجرا شده و در جدول 2 میزان حساسیت پارامترها ارائه شده است.

$$C_d = A(\frac{h}{d})^B(\frac{h}{b})^C(\frac{h}{y})^D \quad [14]$$

$$S = \frac{\frac{100}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{(X_{ni} - X_{ci})}{X_{ci}}}{\Delta} \quad [15]$$

در رابطه 15، N: تعداد نمونه‌ها، X_{ni}: مقدار جدید پارامتر خروجی نقطه iام با تغییر در پارامتر ورودی، X_{ci}: مقدار جدید پارامتر خروجی نقطه iام به عنوان کنترل در شبیه سازی (مشاهده‌ای)، Δ: مقدار قدر مطلق تغییر در پارامتر ورودی که بر حسب درصد بیان می شود و S: شاخص حساسیت بر حسب درصد می‌باشد. همانطور که از جدول 2 مشاهده می‌گردد از میان نسبت‌های بی‌بعد معرفی شده، نسبت h/y دارای بیشترین حساسیت و تاثیر می‌باشد و اندازه گیری آن باید با دقت بیشتری صورت پذیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 2- مقادیر شاخص حساسیت بر حسب درصد و شماره هر پارامتر.

پارامتر	شماره پارامتر	S(-%50)	S(+%50)
h/d	1	0/58	-0/28
h/b	2	-0/88	0/81
h/y	3	3/46	-0/89
A	4	-1	1
B	5	0/67	-0/49
C	6	-0/58	0/87
D	7	-0/82	1/62

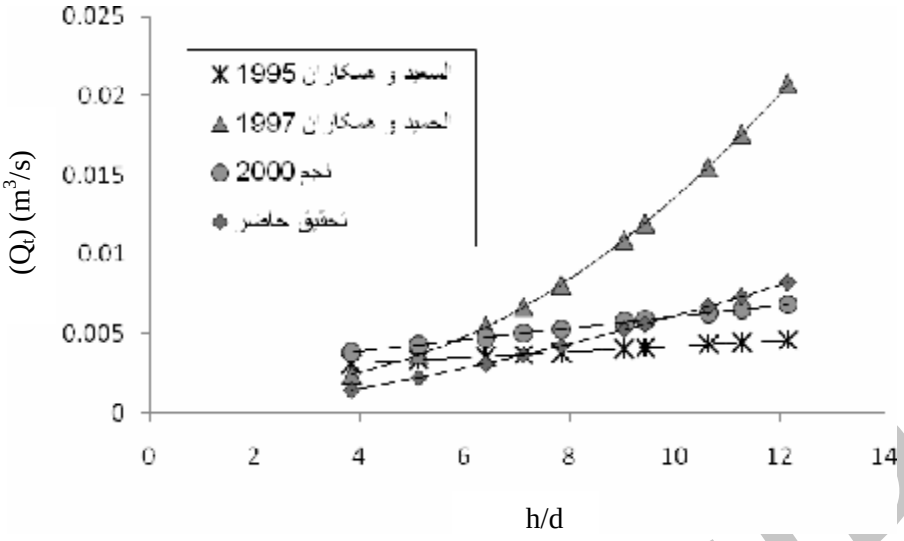
مقایسه نتایج با پژوهش‌های قبلی

همانگونه که پیشتر اشاره شد تا کنون تحقیقات مختلفی بر روی ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز- روزنه انجام و روابط مختلفی نیز ارائه شده است. اما تعداد اندکی از روابط موجود، در شرایط سرریز مثلثی و روزنه مستطیلی در شرایط آزاد می‌باشند؛ که تنها مقایسه با این روابط منطقی به نظر می‌آید. به طور مثال طبق مطالبی که در قسمت مقدمه توضیح داده شد، تحقیق نگم و همکاران (2002) خلاف تحقیق حاضر در شرایط سرریز مستطیلی و روزنه مستطیلی می‌باشد که نتایج آن روند خاصی را نسبت به نتایج تحقیق حاضر، السعید و همکاران (1995)، الحمید و همکاران (1997) و نگم (2000) نشان نمی‌دهد. به همین دلیل جهت واضح ماندن شکل 8 از رسم آن‌ها خودداری می‌شود. شکل 8، نشان دهنده دبی کل جریان در مقابل نسبت بی‌بعد h/d جهت مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات پیشین می‌باشد. همانطور که پیشتر توضیح داده شد، السعید و همکاران (1995) با ارائه رابطه 1، الحمید و همکاران (1997) با ارائه رابطه 2 و نگم (2000) با ارائه رابطه 3 به بررسی ضریب دبی در حالت سرریز مثلثی- روزنه مستطیلی پرداختند. شکل 8 همبستگی تقریبا خوبی بین دبی محاسبه شده در تحقیق حاضر با دبی محاسبه شده از روابط ارائه شده در تحقیقات السعید و همکاران (1995) و نگم (2000) را نشان می‌دهد؛ که نشان دهنده دقت بالای رابطه ارائه شده در تحقیق حاضر می‌باشد. علت تفاوت بسیار اندک موجود بین نتایج تحقیقات السعید و همکاران (1995)، نگم (2000) و تحقیق حاضر را احتمالا می‌توان به خاطر تفاوت در محدوده مورد آزمایش آنها دانست. همچنین نتایج استخراج شده با استفاده از روابط تحقیق حاضر، السعید و همکاران (1995) و نگم (2000) با پژوهش الحمید و همکاران (1997) نیز مقایسه گردید که نتایج حاصل از پژوهش الحمید و همکاران (1997) با نتایج حاصل از سایر پژوهش‌ها متفاوت بود. علت این مغایرت را می‌توان علاوه بر متفاوت بودن محدوده‌های آزمایشات، به فرض در نظر گرفته شده در استخراج رابطه 2 دانست. (با توجه به محدوده‌هایی که در قسمت مقدمه و مواد و روش‌ها ذکر گردیده است، بیشترین مغایرت در محدوده نسبت بی‌بعد y/d می‌باشد.)

الحمید و همکاران (1997) مدل سرریز- روزنه را روزنه تنها فرض کردند و ضریب دبی مدل ترکیبی را با این فرض ارائه نمودند درحالیکه در سایر روابط این فرض در نظر گرفته نشده است. در نتیجه فرض روزنه در نظر گرفتن مدل ترکیبی و ارائه رابطه مشابه روزنه برای مدل ترکیبی توسط الحمید و همکاران (1997) تنها در محدوده $4<h/d<7$ دقیق می‌باشد.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 8- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج پژوهش‌های گذشته

نتیجه گیری

1) پارامترهای هندسی مدل ترکیبی از جمله ارتفاع روزنه (d)، عرض روزنه (b)، فاصله بین بالای روزنه تا راس مثلث (y) و پارامترهای هیدرولیکی از جمله فشار آب روی سرریز (h) در ضریب دبی نقش اساسی دارند.

2) با افزایش نسبت‌های بدون بعد h/d، h/b و h/y ضریب دبی کاهش می‌یابد.

3) ضریب دبی بدست آمده در آزمایشات برای مدل سرریز در محدوده 0/26 تا 0/54 و برای مدل ترکیبی سرریز- روزنه در محدوده 0/28 تا 0/93 قرار دارد. بیشتر بودن ضریب دبی مدل ترکیبی نسبت به مدل سرریز، به علت وجود روزنه در مدل ترکیبی می‌باشد. در نتیجه مدل ترکیبی بیشتر عملکردی شبیه روزنه دارد.

4) رابطه 13 با R^2 = 0/97 جهت تخمین ضریب دبی در مدل ترکیبی ارائه گردید. همچنین مقایسه ضریب دبی و دبی کل جریان محاسبه شده با مشاهداتی نشان دهنده دقت بالای تخمین این رابطه می‌باشد.

5) تحلیل حساسیت رابطه 13 نشان داد که نسبت بی بعد h/y دارای بیشترین حساسیت و تاثیر می‌باشد.

6) مقایسه نتایج تحقیق حاضر با پژوهش‌های پیشین نشان داد که دبی مدل ترکیبی در تحقیق حاضر همبستگی تقریبا خوبی با دبی محاسبه شده از روابط موجود در تحقیقات السعید و همکاران (1995) و نجم (2000) دارد. همچنین نتایج استخراج شده با استفاده از روابط تحقیق حاضر، السعید و همکاران (1995) و نجم (2000) با پژوهش الحمید و همکاران (1997) نیز مقایسه گردید در نتیجه فرض روزنه در نظر گرفتن مدل ترکیبی و ارائه رابطه مشابه روزنه برای مدل ترکیبی توسط الحمید و همکاران (1997) تنها در محدوده $4<h/d<7$ دقیق می‌باشد.

سپاسگزاری

بدینوسیله از جناب آقایان پروفسور محمود شفاعی بجستان و پروفسور محمود کاشفی‌پور به خاطر رهنمودهای ارزشمندشان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع مورد استفاده

اسماعیلی ک و فتحی مقدم م، 1385. ضریب دبی در مدل سرریز- دریچه. اولین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، 12 اردیبهشت دانشگاه شهید چمران اهواز.

رضویان ح و حیدرپور م، 1386. بررسی ضریب دبی در مدل ترکیبی سرریز لبه تیز- روزنه. صفحه‌های 390 تا 401. ششمین کنفرانس هیدرولیک ایران، 13 شهریور، دانشگاه شهرکرد.

صفار س و کاشفی‌پور م، 1387. بررسی جریان ترکیبی بر روی مدل سرریز- روزنه. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، 26 خرداد، دانشگاه تبریز.

حسینی م و ابریشمی ج، 1385. هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).

Alhamid AA, Negm AM and Al-Brahim AM, 1997. Discharge equation for proposed self-cleaning device. J King Saud Univ 9(1):13–24.

Bos MG (ed), 1989. Discharge Measurement Structures, 3rd ed. Int Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands

El-Saiad AA, Negm AM and Waheed El-Din U, 1995. Simultaneous flow over weirs and below gates. Civil Engineering Research Magazine 17(7): 62-71.

French RH, 1986. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill Book Company, New York.

Israelsen OW, Hanson VE, 1962. Irrigation Principle and Practices, 3rd ed. Wiley, New York.

Munson BR, Young DF and Okiishi TH, 1994. Fundamentals of Fluid Mechanics, 2nd ed, John Wiley and Sons Inc, New York.

Negm AM, 2000. Characteristics of simultaneous overflow – submerged underflow: (unequal contractions). Engineering Bulletin 35 (1):137-154.

Negm AM, 1995. Characteristics of combined flow over weirs and under gate with unequal contractions. 2(A): 285-292. Proc 2nd Int Conf on Hydro-science and Engineering, 22-26 March Beijing, China.

Negm AM, Albarahim AM and Alhamid AA, 2002. Combined free flow over weirs and gate. Journal of Hydraulic Research 40(3): 359-365.

Negm AM, El-Saiad AA and Saleh OK, 1997. Characteristics of combined flow over weirs and below submerged gates. 3(B): 259-272. Proc of Al-Mansoura Engineering, 2nd Int Conf (MEIC'97) 1-3 April, Al-Mansoura, Egypt.

Rajaratnam N, 1977. Free flow immediately below sluice gates. Proc Journal of Hydraulics Div, ASCE 103(HY4): 345-351.

Samani JMV, Mazaheri M, 2009. Combined flow over weir and under gate. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 135(3): 224-225.

Archive of SID

www.SID.ir

Swamee PK, 1992. Sluice gate discharge equations. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE 118(1): 57-60.

Swamee PK, 1988. Generalized rectangular weirs equations. Proc Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 114(8): 945-949.

Archive of SID

www.SID.ir