

Discharge Estimation of Circular Sewer Using Combined Device of Weir-Sluice Gate

Mahmoud F. Maghrebi¹,
Mir Sajjad Rezaei Nasab²

Abstract

Due to space constraints any access to a buried sewer conduit is seriously limited. In order to install the flow measurement devices, the space of manholes are the most appropriate places in a conduit. The conventional weir plates or sluice gates are usually used for flow measurements, however, these devices due to the nature of sewage, which contains sediments or floating objects are not suitable for flow measurements in sewer conduits. In a sewer conduit, the heavy solid particles tend to settle down behind a weir plate and floating objects accumulate behind a sluice gate, which both affects the accuracy of measurements by these devices. Therefore, the implementation of a combined system of weir-sluice gate at a cross section of conduit seems to be able to recover the defects of weirs and sluice gates. The application of this device in a circular cross section has not been received enough attention in the past. In the present paper the experimental results obtained from discharge measurement using combined weir-sluice gate system which allows simultaneously flow over and under a weir plate installed at the end of a sewer conduit are presented. The relationship between the experimental results and the theoretical flow which is a function of some geometric and hydraulic information of flow, are analyzed. Using statistical analysis of the obtained results of flow measurements accompanied with linear regression, an equation for discharge coefficient C_d is proposed. The efficiency of the proposed technique is high enough that the associated error is limited to $\pm 10\%$.

Keywords: Weir-Sluice Gate, Sluice Gate, Weir, Dimension Analysis, Discharge Coefficient, Statistical Analysis.

برآورد دبی فاضلابروهای مدور با استفاده از مدل ترکیبی سرریز-دریچه

محمود فغفور مغربی^۱ میرسجاد رضایی نسب^۲

(دریافت ۸۴/۲/۲۳ پذیرش ۸۴/۸/۳۰)

چکیده

در بسیاری از موارد، دسترسی به مجرای فاضلابرو در طول مسیر به سهولت امکانپذیر نمی‌باشد. از این رو برای اندازه‌گیری دبی جریان با استفاده از روشهای هیدرولیکی، فضای محدود منتهولها مناسب‌ترین محل می‌باشد. سیستم‌های متعارف سرریز و یا دریچه می‌توانند به صورت بالقوه برای اندازه‌گیری دبی به کار گرفته شوند، لکن به علت آنکه فاضلاب ماهیتاً حاوی مواد رسوبی و قابل ته‌نشینی و نیز مواد شناور می‌باشد؛ با انباشتگی این مواد، سیستم‌های فوق نمی‌توانند گزینه مناسبی به عنوان محل اندازه‌گیری جریان باشند. از این رو، به کارگیری سیستم هیدرولیکی متمرکزی به نام سرریز-دریچه که با موجود بودن اطلاعات در یک مقطع، قادر باشد تخمین مناسبی از دبی ارائه نماید، بهترین گزینه به نظر می‌رسد که تاکنون به خصوص در مقاطع دایره‌ای توجه چندانی به آن نشده است. در مقاله حاضر نتایج آزمایشگاهی به دست آمده از شدت جریان عبوری برای جریان همزمان از رو و زیر یک دریچه لبه تیز که در انتهای مجرای دایره‌ای نصب شده، ارائه گردیده است. ارتباط بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج ناشی از تئوری جریان در سیستم سرریز-دریچه که تابع برخی از پارامترهای هندسی و هیدرولیکی جریان می‌باشد، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، نهایتاً با تحلیل آماری داده‌ها و به کمک رگرسیون خطی، معادله‌ای برای ضریب تخلیه پیشنهاد شده است که خطای ناشی از به کارگیری این رابطه به $\pm 10\%$ درصد محدود می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سرریز-دریچه، دریچه کشویی، سرریز،

ضریب تخلیه، تحلیل آماری.

1- Assist. Prof., Dept. of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad. magrebi@yahoo.com

2- M.Sc., Student, Dept. of Civil Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

۱- استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد - magrebi@yahoo.com
۲- کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی دانشگاه فردوسی مشهد

۱- مقدمه

بررسی جریان از زیر دریچه‌های کشویی یا از روی سرریزها، از مسائل عمده هیدرولیکی است. در عمل به دلیل رابطه ساده و نسبتاً دقیقی که برای دبی در این نوع سازه‌ها وجود دارد، عموماً به عنوان وسیله اندازه‌گیری به کار می‌روند.

در رابطه با دریچه‌های کشویی تحقیقاتی توسط هنری^۱ در سال ۱۹۵۰ صورت گرفت که توسط فرو^۲ و نگم^۳ مورد توجه دوباره قرار گرفته است [۱ و ۲]. در همین رابطه راجار اتنام^۴ و سوبرامانیا^۵ نیز تحقیقات دیگری انجام داده‌اند [۳]. سوامی^۶ از روی منحنیهای به دست آمده توسط آزمایشهای هنری یک معادله کلی برای دبی عبوری از زیر دریچه‌های کشویی استخراج کرد [۲ و ۴]. مونتنس^۷ نیز یک روش عددی برای حل معادله لاپلاس دبی عبوری از زیر یک دریچه کشویی ارائه نمود [۵].

در رابطه با جریان از روی سرریزها، نتایج تحقیقاتی زیادی گزارش شده است. از این میان می‌توان به تحقیقات کیندزوتر^۸ و کارتر^۹ [۶]، اکرز^{۱۰} [۷] و باس^{۱۱} [۸] اشاره کرد. همچنین کوششهای انجام گرفته در ارتباط با جریان ترکیبی از زیر و روی دریچه- به عنوان یک وسیله اندازه‌گیری جریان- را می‌توان در تحقیقی که توسط نگم و همکارانش انجام یافته، پیگیری کرد. فعالیت‌های دیگری نیز توسط چو در سال ۱۹۵۴، احمد در سال ۱۹۵۶ و نادشر در سال ۱۹۹۱ صورت گرفته است [۲]. حمید یک معادله رگرسیونی برای تخمین دبی جریان از روی یک سرریز مستطیلی و دریچه مثلثی ارائه داد و نگم و همکاران، پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر روی جریان ترکیبی را مورد بررسی قرار داده و برای تخمین دبی جریان سرریز مثلثی روی دریچه مستطیلی و بر عکس، معادله‌ای استخراج کردند [۲]. آنها ثابت کردند که استفاده از

ضریب شدت جریان معمول برای این گونه سرریزها و دریچه‌ها، در حالت ترکیبی می‌تواند خطای بزرگی ایجاد کند. فرو معادله‌ای برای تخمین نظری دبی به طور همزمان از یک سرریز و دریچه مستطیلی لبه پهن بر اساس معادلات انرژی و قضیه π استخراج کرد [۱].

در این مقاله به منظور تعیین مشخصات جریان در یک مدل ترکیبی از سرریز و دریچه لبه تیز که در یک کانال دایره‌ای واقع شده است، یک مدل آزمایشگاهی ساخته شد و کلیه پارامترهای لازم برای حالت‌های مختلف بازشدگی و ارتفاع دریچه، برداشت شد. پس از تعیین ارتباط بین عوامل مؤثر بر ضریب تخلیه به کمک آنالیز ابعادی، تحلیل آماری روی داده‌ها انجام گرفته و رابطه‌ای برای دبی عبوری از این مدل استخراج گردید.

۲- مواد و روشها

به منظور تعیین پارامترهای مؤثر بر دبی و تعیین پروفیل سرعت در بالادست دستگاه سرریز- دریچه، یک مدل آزمایشگاهی ساخته شد. شبیه‌سازی در این مدل، از روی سیستم سرریز- دریچه‌ای انجام گرفت که در انتهای مجرای با مقطع دایره‌ای و در حالت نیمه پر قرار داشت. در این مدل از یک لوله پی وی سی به طول ۶ متر و قطر داخلی ۲۴ سانتیمتر و با ضخامت ۴ میلیمتر استفاده شد که آن نیز داخل یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۰ متر و عرض ۳۰ سانتیمتر قرار گرفت و به ورودی کانال (محل اتصال مخزن به کانال) متصل گردید. برای جلوگیری از خم شدن لوله به دلیل سنگینی لوله و آب داخل آن، از تکیه‌گاههای چوبی در فواصل مناسب در زیر و اطراف لوله استفاده شد. نمایی کلی از برپایی تجهیزات آزمایشگاهی به منظور انجام آزمایشهای مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است.

از صفحات آهنی گالوانیزه به ضخامت ۲ میلیمتر که لبه آنها با زاویه ۴۵° برش زده شده بود، با ارتفاعهای بی بعد، $\frac{1}{4}, \frac{1}{8}, \frac{1}{12}$ ، که در آن w/D ارتفاع دریچه و D قطر لوله می‌باشد، به عنوان دریچه استفاده شد. با قرار دادن صفحات در بین ریل‌های هادی امکان تنظیم فواصل آنها از کف مجرا فراهم شد. بدین ترتیب توانستیم آزمایشها را

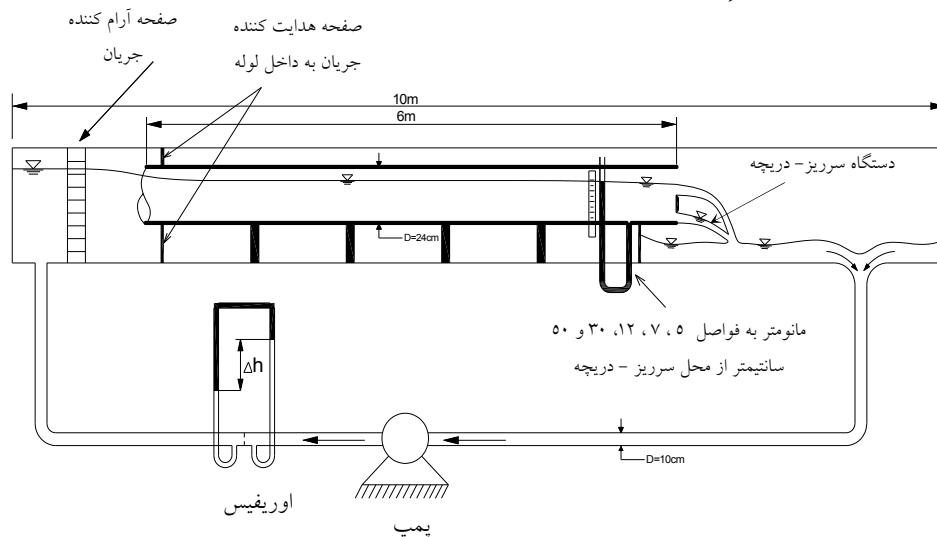
¹ Henri² Ferro³ Negm⁴ Rajaratnam⁵ Subramaniya⁶ Swamee⁷ Montes⁸ Kindsvater⁹ Carter¹⁰ Ackers¹¹ Bos

سطح آزاد برداشت شده بود، واسنجی^۱ لازم جهت قرائت صحیح سطح آب اعمال گردید. همچنین برای بازشدگیهای دریاچه، نسبتهای بی بعد $1/12$ ، $1/6$ و $1/4$ a/D انتخاب گردید. برای بررسی اثر شیب

برای ارتفاعهای مختلفی از دریاچه (w) و مقدار بازشدگیهای متفاوت دریاچه (a)، انجام دهیم.

برای اندازه گیری عمق جریان و ترسیم پروفیل سطح آب در طول لوله، پیزومترهایی در زیر آن تعبیه شد. کشش سطحی در لوله های پیزومتر ناچیز و کمتر از ۲ میلی متر است. به دلیل آنکه قسمتی از اندازه گیریهای عمق توسط پیزومترها و قسمتی بر اساس پوینت گنج مستقیماً از روی

¹ Calibration



شکل ۱- موقعیت قرارگیری لوله در فلوم آزمایشگاهی همراه با دستگاه سرریز- دریاچه در انتهای لوله

۳- مبانی نظری

شکل ۲، جزئیات جریان در یک سیستم ترکیبی سرریز- دریاچه را نشان می دهد که در خروجی یک کانال با مقطع دایره ای شکل نصب می شود. اگر d حداکثر عمق آب در داخل لوله و در بالا دست سرریز- دریاچه باشد، و ترکیب پارامترهای آزمایشگاهی در برداشتهای مختلف با فرض اینکه ضریب تخلیه (C_d)، ضریب تخلیه کل سیستم برای این مدل باشد، می توان نوشت:

(۱)

$$Q = C_d [Q_w + Q_g]$$

که در آن، Q دبی خروجی از لوله، C_d ضریب تخلیه، Q_w دبی نظری عبوری از روی سرریز و Q_g دبی نظری عبوری از زیر دریاچه می باشد.

باس، رابطه ۲ را برای سرریزهای دایره ای به صورت زیر پیشنهاد کرد [۸]:

نیز لوله در شیبهای $0/000$ ، $0/002$ و $0/003$ قرار داده شد که ترکیبهای مختلفی از شیب، a/D و w/D ایجاد گردید. در هر ترکیب ایجاد شده از پارامترهای انتخابی به ازای تغییرات دبی، عمق جریان در انتهای لوله (روی سرریز) و فواصل ۵، ۷، ۱۲، ۳۰ و ۵۰ سانتیمتری از انتهای لوله و وسط لوله اندازه گیری شد. در مجموع، ۵۸ آزمایش انجام شد که نتایج به دست آمده مورد بحث قرار می گیرد. انتخاب این شرایط آزمایش با ملاحظه امکانات آزمایشگاهی و حصول بهترین نحوه تغییرات پارامترها صورت گرفته است. این آزمایشها برای هر بازشدگی (سانتیمتر ۶ و ۴، $a=2$) و ارتفاع مشخص دریاچه (سانتیمتر ۶ و ۴، $w=2$)، برای چهار دبی مختلف در گستره $17/21 < Q < 4/08$ لیتر بر ثانیه، در حالت با دریاچه و بدون دریاچه تکرار شد. خلاصه ای از متغیرهای آزمایشگاهی در جدول ۱ آورده شده است.

(۲)

$$Q_w = \varphi_i D^{2.5}$$

که در این رابطه φ_i ضریب تجربی بوده و به نسبت $(d-P)/D$ بستگی دارد. این پارامترها در شکل ۲ نشان داده شده اند. مقادیر φ_i بر اساس آزمایشهای انجام گرفته، در جدول ۲ آمده است [۷]. همچنین مقدار Q_g را می توان از رابطه توریچلی به صورت زیر به دست آورد:

$$Q_g = \sqrt{2gd} A_a \quad (۳)$$

که در آن، A_a مساحت قسمت بازشدگی و d عمق آب در بالادست سرریز می باشد (شکل ۲). بنابر این معادله کلی برای جریان از سیستم ترکیبی سرریز-دریچه به صورت زیر خواهد بود:

(۴)

$$Q = C_d [\varphi_i D^{2.5} + \sqrt{2gd} A_a]$$

۴- نتایج و بحث

۴-۱- تأثیر پارامترهای مختلف بر ضریب تخلیه C_d

۴-۱-۱- پارامترهای هندسی

میزان بازشدگی دریچه (a)، ارتفاع سرریز-دریچه (w) و قطر لوله (D) که در معادلات مختلف آزمایش تغییر و تأثیر می نمایند، به عنوان پارامترهای هندسی انتخاب گردیدند. آنگاه ضریب تخلیه (C_d) را که با استفاده از رابطه ۴ و برداشت های آزمایشگاهی به دست آمد بر حسب d/a در شکلهای ۳-الف، ب و ج به ترتیب برای شیبهای ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۲، $S = 0$ و برای مقادیر w/a برابر ۰/۰۵، ۱/۰، ۱/۵، ۲/۰ و ۳/۰ ترسیم شد. همان طور که ملاحظه می شود

روند تغییرات در هر سه نوع شیب تقریباً یکسان است. از طرفی با فرض ثابت بودن d و w ، افزایش مقدار a باعث کاهش شدید ضریب تخلیه C_d می گردد و بالعکس. همچنین در صورت ثابت بودن a و d ، افزایش ارتفاع دریچه (w) نیز کاهش C_d را به دنبال دارد.

۴-۱-۲- شیب کانال

تأثیر شیب کانال بر ضریب شدت جریان برای مقادیر مختلف w/a برابر ۰/۰۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل همان طور که ملاحظه می شود، پراکنش ناچیزی به

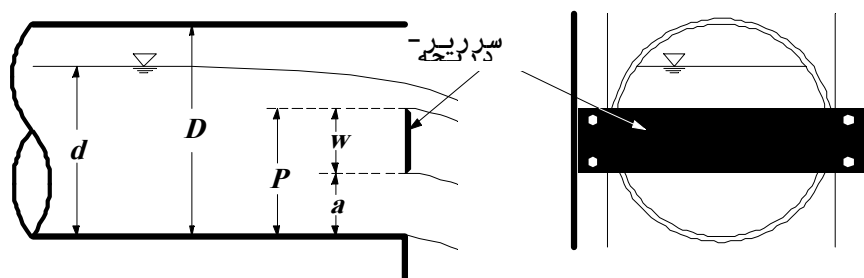
دست آمده و هماهنگی آنها حول خط چین برآزش شده حاکی از آن است که تغییرات C_d بر حسب d/a برای هر سه شیب یکسان می باشد؛ بنابراین می توان نتیجه گرفت که اثر شیب بر ضریب تخلیه ناچیز است. همچنین می توان توجه نمود شیب کلیه خطوط خط چین برآزش داده شده برای تمامی مقادیر w/a یکسان است. این موضوع، استقلال پارامتر بی بعد w/a از سایر پارامترها در این تحلیل ابعادی را نشان می دهد. همچنین می توان مشاهده نمود w/a های کم، در مقایسه با w/a های زیاد، برای داشتن یک C_d مشخص، نیازمند مقادیر کوچکتری از d/a هستند. فاصله بین خط چینهای ترسیم شده به ازای یک C_d مشخص نیز از نکات جالب توجه می باشد؛ همچنان که در خط چینهای w/a مشاهده می شود،

بین w/a های ۰/۰۵ و ۱/۵ فاصله بیشتری وجود دارد تا بین w/a های ۲ و ۳ که این امر نشانگر کاهش حساسیت w/a

جدول ۱ - شرایط مختلف آزمایشگاهی

شرایط سرریزی	Q (L/s)	w (cm)	a (cm)	شیب S
بدون دریچه، با دریچه	Q_1, Q_2, Q_3, Q_4	۲، ۴، ۶	۲، ۴، ۶	۰/۰۰۰، ۰/۰۰۲، ۰/۰۰۳

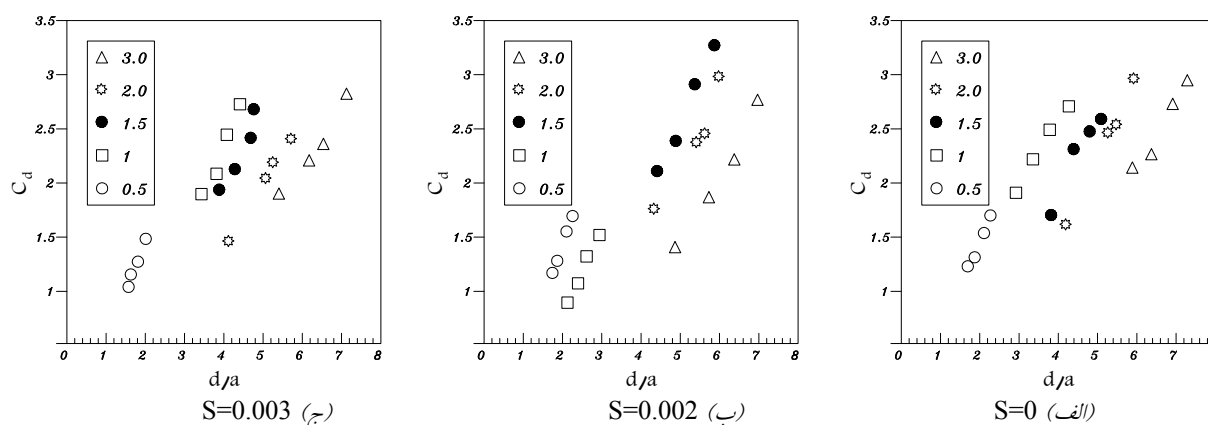
Q_1



(ب) مقطع طولی

(الف) مقطع عرضی همراه با ریل‌های هادی

شکل ۲- سرریز- دریچه در مقطع دایره ای

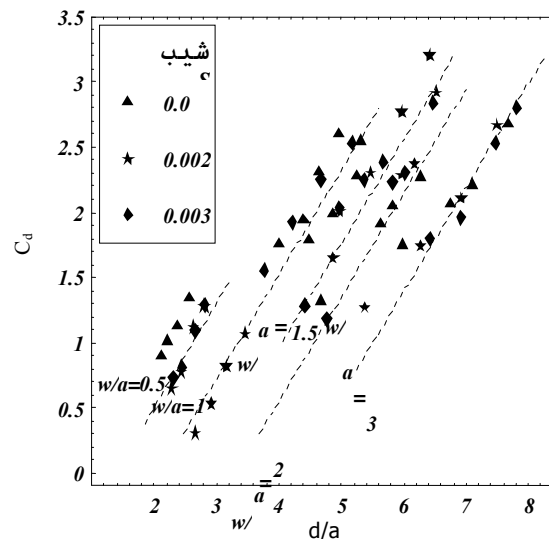


شکل ۳- تغییرات ضریب تخلیه به عنوان تابعی از d/a برای شبیه‌های مختلف

جدول ۲- مقادیر ϕ_i برای سرریزهای لبه تیز دایره‌ای [۷]

ϕ_i	$(d-P)/D$	ϕ_i	$(d-P)/D$	ϕ_i	$(d-P)/D$
1.2632	0.67	0.3660	0.34	0.00047	0.01
1.2957	0.68	0.3866	0.35	0.00154	0.02
1.3284	0.69	0.4076	0.36	0.00319	0.03
1.3612	0.70	0.4291	0.37	0.00543	0.04
1.3943	0.71	0.4511	0.38	0.00839	0.05
1.4275	0.72	0.4735	0.39	0.0120	0.06
1.4609	0.73	0.4965	0.40	0.0164	0.07
1.4946	0.74	0.5199	0.41	0.0215	0.08
1.5284	0.75	0.5437	0.42	0.0273	0.09
1.5623	0.76	0.5681	0.43	0.0338	0.10
1.5963	0.77	0.5929	0.44	0.0409	0.11
1.6303	0.78	0.6182	0.45	0.0487	0.12
1.6644	0.79	0.6439	0.46	0.0571	0.13
1.6986	0.80	0.6700	0.47	0.0661	0.14
1.7328	0.81	0.6965	0.48	0.0758	0.15
1.7671	0.82	0.7233	0.49	0.0860	0.16
1.8013	0.83	0.7506	0.50	0.0967	0.17
1.8356	0.84	0.7782	0.51	0.1080	0.18
1.8699	0.85	0.8062	0.52	0.1198	0.19
1.9041	0.86	0.8344	0.53	0.1322	0.20
1.9384	0.87	0.8630	0.54	0.1452	0.21
1.9725	0.88	0.8920	0.55	0.1588	0.22
2.0066	0.89	0.9212	0.56	0.1729	0.23
2.0407	0.90	0.9509	0.57	0.1877	0.24
2.0743	0.91	0.9809	0.58	0.2030	0.25
2.1077	0.92	1.0111	0.59	0.2190	0.26
2.1409	0.93	1.0416	0.60	0.2355	0.27
2.1738	0.94	1.0724	0.61	0.2527	0.28

2.2063	0.95	1.1035	0.62	0.2704	0.29
2.2384	0.96	1.1349	0.63	0.2888	0.30
2.2702	0.97	1.1666	0.64	0.3072	0.31
2.3015	0.98	1.1986	0.65	0.3264	0.32
2.3322	0.99	1.2308	0.66	0.3460	0.33



شکل ۴- تغییرات ضریب تخلیه بر حسب d/a برای تمامی نسبتهای w/a و تمامی شیبها

در مقایسه اعداد فرود در حالت بدون دریچه و با دریچه، با نگاهی به شکل ۵ می‌توان گفت با افزایش ارتفاع دریچه فاصله بین دو دیاگرام افزایش یافته، زیرا افزایش ارتفاع دریچه به معنای بالا آمدگی تراز سطح آب است که منجر به کاهش سرعت متوسط در مقطع خواهد شد. در تمامی مقاطع کنترل با دریچه‌های زیر گذر، در بالادست، جریان زیر بحرانی بوده و در گذر از زیر دریچه، به فوق بحرانی تبدیل می‌شود. انتظار می‌رود چنین شرایطی در سیستم سرریز- دریچه نیز برقرار باشد. تنها در زمانی که جریانهای فوق بحرانی در مجرای بدون دریچه برقرار است، ممکن است با نصب دریچه دو حالت رخ دهد. حالت اول وضعیتی است که جریان همچنان فوق بحرانی خواهد ماند و این به علت ناکافی بودن مانع ایجاد شده در برابر جریان توسط سرریز- دریچه می‌باشد. این حالت در آزمایشگاه با پرتاب آب همراه بوده و عملاً هیچ گونه امکان اندازه‌گیری دبی را فراهم نمی‌کند. لکن در حالت دوم با نصب دریچه، برقراری جریان زیر بحرانی در بالادست سرریز- دریچه تضمین می‌شود. مطمئناً هر چه مانع ایجاد شده توسط سرریز- دریچه نیروی بیشتری بر جریان وارد نماید، از

نسبت به افزایش پارامتر d/a می‌باشد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت در یک w/a ثابت، ضریب شدت جریان با افزایش مقدار d/a افزایش می‌یابد و به همین ترتیب در یک d/a ثابت، با کاهش مقدار w/a ، ضریب تخلیه افزایش می‌یابد.

۴-۲- وضعیت (حالت) هیدرولیکی جریان

برای بررسی وضعیت هیدرولیکی جریان، مقادیر عدد فرود در دو حالت بدون سرریز- دریچه و با نصب سرریز- دریچه در فواصل مختلف بالادست سرریز- دریچه برداشت شد. بعضی از نتایج به دست آمده به طور نمونه در شکل ۵ آورده شده است. چنان که ملاحظه می‌شود، در شرایطی که سرریز- دریچه وجود ندارد، عدد فرود جریان تا فاصله کمی در بالادست خروجی آن، شرایط زیر بحرانی را نشان می‌دهد؛ لکن جریان در عبور از انتهای پایین دست مجرا، فوق بحرانی می‌باشد. گرچه عمق بحرانی قدری در بالادست‌تر در حدود $x/d = -0.7$ رخ می‌دهد، لکن این موقعیت در عمل با نوسان موقعیت طولی و عمق همراه است که اگر به عنوان مبنایی برای محاسبات دبی قرار گیرد، با خطای زیادی همراه خواهد بود [۴ و ۹].

می‌باشد، مناسب‌ترین معیار برای ایجاد مقطع کنترل تشخیص داده شد.

۴-۳- تحلیل آماری داده‌ها

برای تشخیص ارتباط عوامل مؤثر بر ضریب تخلیه C_d ابتدا به کمک آنالیز ابعادی رابطه‌ای بین عوامل مؤثر به دست می‌آید. رابطه ۵ نتیجه کار را نشان می‌دهد:

$$C_d = 0.5 \left(\frac{d}{P} \right)^a \left[a_1 + a_2 \left(\frac{d}{a} \right) + a_3 \left(\frac{w}{a} \right) + a_4 \left(\frac{P}{a} \right) \right] \quad (5)$$

که در آن a ، a_1 ، a_2 ، a_3 و a_4 ضرایب ثابت بوده و سایر نمادها قبلاً تعریف شده‌اند. با معرفی C_d^* به صورت زیر داریم:

$$C_d^* = \frac{C_d}{0.5 \left(\frac{d}{P} \right)^a} \quad (6)$$

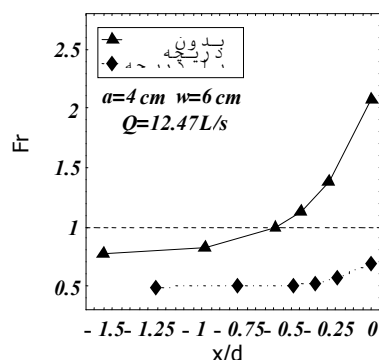
اگر $a = 1/5$ انتخاب شود، رابطه ۵ به صورت خطی زیر در می‌آید:

$$C_d^* = \left[a_1 + a_2 \left(\frac{d}{a} \right) + a_3 \left(\frac{w}{a} \right) + a_4 \left(\frac{P}{a} \right) \right] \quad (7)$$

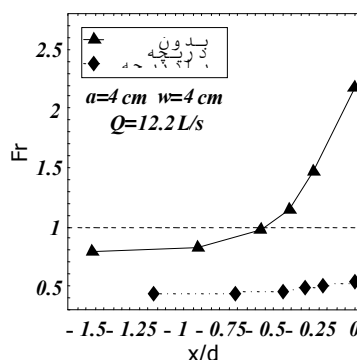
باید در نظر داشت که مقدار $a = 1/5$ به صورت تکراری و به گونه‌ای تعیین شد که بهترین رابطه خطی بین پارامترها به دست آید.

سرعت جریان کاسته شده و همزمان جریان با عمق بیشتر، سرعت و عدد فرود کمتر در مجرا برقرار خواهد شد.

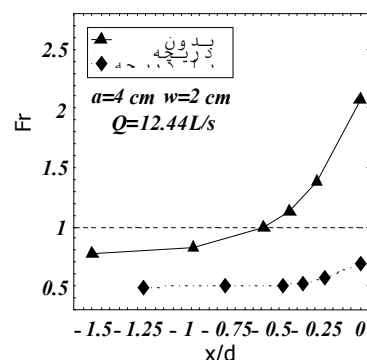
موقعیت نصب دریچه در مقطع، نسبت به کف لوله نیز عامل مؤثری است زیرا اگر دریچه در ترازهای پایین نسبت به کف لوله کار گذاشته شود، باز شدگی کمتری را ایجاد نموده و با بالا بردن دریچه این سطح افزایش خواهد یافت. این موضوع دلیل ایجاد اختلاف فاصله بیشتر در شکل ۵-د نسبت به ۵-الف است. توجه به یک نکته در شکل ۵-د ضروری است. در این شکل در حالتی که دریچه نصب شده است، عدد فرود اندکی کمتر از حالت بدون دریچه بوده و از حدود 0.75 در موقعیت $x/d = -1.25$ شروع شده و به مقدار حدود 0.9 در مجاورت دریچه می‌رسد. در اینجا d عمق جریان در حالت بدون دریچه است. واضح است که نمی‌توان با نصب یک دریچه کم ارتفاع نظیر قرار دادن یک میله نازک، مقطع کنترل ایجاد نمود و رژیم جریان را تغییر داد؛ بلکه باید نیروی کافی از طرف مانع به گونه‌ای بر سیال وارد شود که موجب بالا آمدن سطح آب گردیده و رژیم جریان را که بلافاصله در بالادست خروجی فوق بحرانی است، به زیر بحرانی تبدیل کند. مشخص است که فاصله بین دو منحنی در یک دیاگرام در اثر قرار گرفتن دریچه ایجاد شده است. هر قدر ارتفاع دریچه کمتر شود، این دو منحنی به هم نزدیک‌تر شده و لذا ممکن است مقطع بحرانی در دریچه‌های کم ارتفاع قبل از سرریز-دریچه و نه در بالای آن رخ دهد. با توجه به گستره آزمایشهای انجام شده که نتایج آنها در این مقاله مورد استفاده واقع نگردیده است، معیار $w/d > 1/8$ که در آن w ارتفاع دریچه و d عمق جریان قبل از نصب دریچه



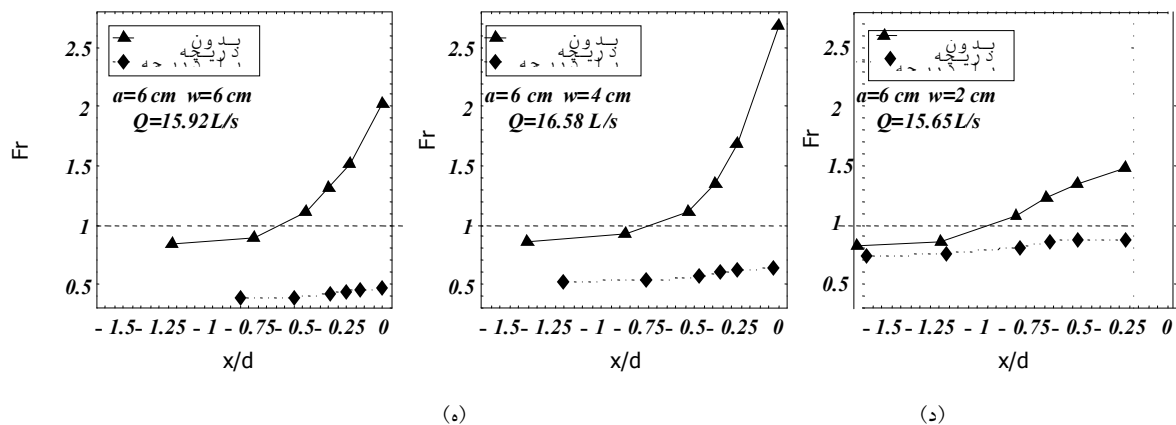
(ج)



(ب)



(الف)



شکل ۵- نمایش عدد فرود در پشت دریچه در حالت بدون دریچه و با دریچه

$$E_1 = 0.087 \frac{P}{a} + 0.209 \frac{d}{a}$$

شایان ذکر است که روابط اخیر در دامنه برداشت اطلاعات برای حالت‌های $P/a \leq 3/5$ و $d/a \leq 4/95$ اعتبار دارند. حال رابطه زیر را در نظر می‌گیریم:

$$\text{نسبی خطای} = \frac{Q_a - Q_c}{Q_a} * 100 \quad (9)$$

با در نظر گرفتن رابطه ۹، میزان خطای بین Q_a به عنوان دبی واقعی و Q_c به عنوان دبی تخمین زده شده به کمک ضریب تخلیه (رابطه ۸)، محاسبه می‌شود.

میانگین و انحراف استاندارد خطای نسبی محاسبه شده از رابطه ۹ به ترتیب -0.39% و 6.13% درصد، به دست می‌آید.

برای تخمین بازه مطمئن خطای نسبی، از رابطه زیر استفاده می‌شود [۱۰]:

$$X \approx N(\mu, \sigma^2) \quad (10)$$

$$P[\mu - Z_{\alpha/2}\sigma \leq X \leq \mu + Z_{\alpha/2}\sigma] = (1 - \alpha)\%$$

رابطه فوق بیانگر این است که اگر X از توزیع نرمال با میانگین μ و واریانس σ^2 پیروی کند، آنگاه در سطح اعتماد $(1 - \alpha)\%$ ، X بین مقادیر $\mu \pm Z_{\alpha/2}\sigma$ قرار خواهد گرفت. با توجه به رابطه ۱۰ و سطح اعتماد ۹۵ درصد، خطای رابطه ۸ در بازه $\pm 10\%$ درصد قرار می‌گیرد. این بازه اطمینان در سطح اعتماد ۹۵ درصد به این معنی است که

C_d^* را متغیر وابسته و d/a و w/a ، P/a را به عنوان متغیرهای مستقل در نظر می‌گیریم. شکل ۶ پراکنش این متغیرها را در مقابل یکدیگر نشان می‌دهد.

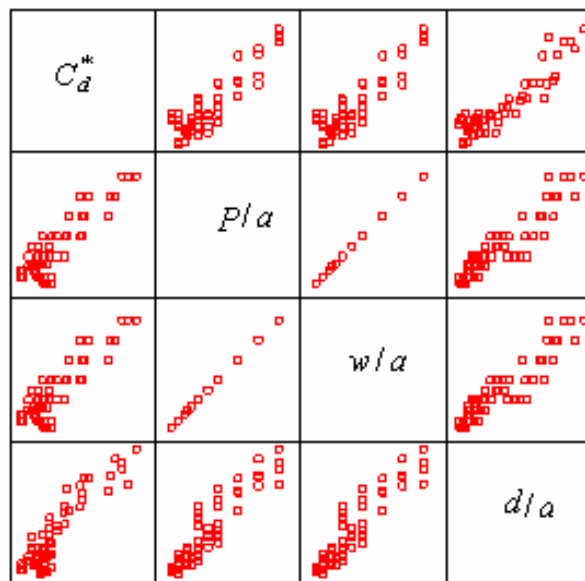
نمودار ماتریسی فوق بیانگر آن است که بین متغیر پاسخ C_d^* و پارامترهای بی بعد P/a ، w/a و d/a یک رابطه قوی خطی و مثبت وجود دارد؛ برای مثال با افزایش C_d^* ، P/a نیز افزایش می‌یابد. این همبستگی قوی در تولید یک مدل خطی مناسب برای تشریح تغییرات C_d^* از روی این متغیرهای توضیحی بسیار مفید می‌باشد. همچنین، همان طور که در شکل ۶ دیده می‌شود، نمودار P/a در مقابل w/a نشان دهنده وابستگی شدید این دو متغیر به یکدیگر می‌باشد زیرا رابطه خطی $P/a = 1 + w/a$ را می‌توان بین آنها برقرار نمود. از این رو w/a را حذف کرده و تنها از متغیرهای P/a و d/a در تحلیل آماری استفاده خواهیم کرد. برای حذف کامل وابستگی بین این دو متغیر و ایجاد یک متغیر کاملاً مستقل، از روی ماتریس واریانس - کوواریانس آنها، مقادیر ویژه ماتریس و بردارهای ویژه یکه را استخراج کرده و ترکیب خطی E_1 را ایجاد می‌کنیم. به کمک رگرسیون خطی چندگانه و نرم افزار تحلیل آماری SPSS [۱۰]، رابطه زیر با ضریب تعیین $r^2 = 0.9$ و خطای تخمین استاندارد $SEE = 0.008$ به دست می‌آید:

$$C_d = 0.5(d/P)^{1.5} \times C_d^* \quad (8)$$

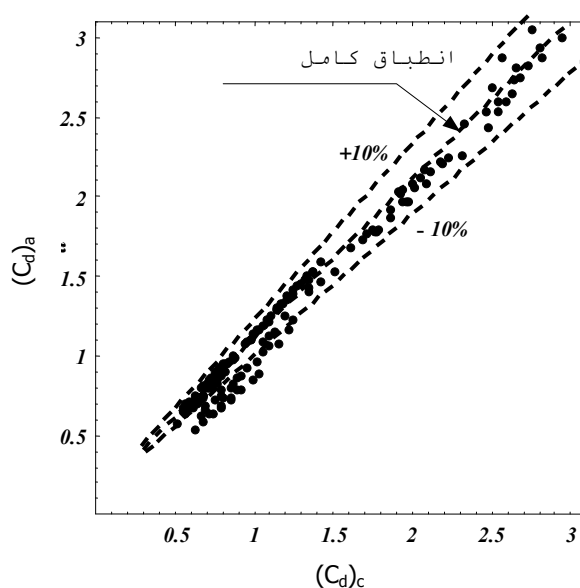
$$C_d^* = 0.742 + 0.177E_{11}$$

$$E_{11} = e^{E_1}$$

اگر مثلاً ۱۰۰ بار این اندازه گیریها را انجام دهیم، خطای نسبی ۹۵ بار از اندازه گیریها در این بازه قرار می گیرد.



شکل ۶- نمودار پراکنش C_d^* در مقابل P/a ، w/a و d/a



شکل ۷- مقایسه ضریب تخلیه محاسبه شده $(C_d)_c$ در مقابل ضریب تخلیه واقعی $(C_d)_a$

همبستگی مناسب تر بین مقادیر محاسبه شده و واقعی ضریب تخلیه در ضرایب کوچکتر تخلیه که متناظر با ترازهای کمتری از آب در داخل مجرا و در نتیجه دبی های کمتر می باشد، دارد.

۵- نتیجه گیری

در شکل ۷، ضریب تخلیه محاسبه شده $(C_d)_c$ توسط روابط به دست آمده در مقابل ضریب تخلیه واقعی $(C_d)_a$ رسم شده است. همان طور که ملاحظه می شود، داده ها حول خط برازش داده شده، به میزان اندکی دارای نوسان می باشند که نشان دهنده تخمین نسبتاً مناسبی از ضریب تخلیه به کمک پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر مدل سرریز- دریچه می باشد. همچنین این شکل نشان از

در این پژوهش مشخصات جریان همزمان عبوری از یک مدل مرکب سرریز- دریاچه مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر دبی جریان، نمایش داده شد. نتایج به دست آمده از آن به صورت زیر خلاصه می‌شود:

(۱) رسم پارامترهای هیدرولیکی و هندسی در مقابل ضریب تخلیه برای شیبهای مختلف کف کانال، نشان داد که تغییرات ضریب تخلیه برای شیبهای مختلف بسیار ناچیز بوده و می‌توان با اطمینان، از اثر شیب بر روی آن صرف‌نظر نمود.

(۲) ضریب تخلیه در مدل سرریز- دریاچه تحت تأثیر میزان بازشدگی دریاچه می‌باشد؛ به گونه‌ای که برای عمق ثابت، افزایش بازشدگی دریاچه باعث کاهش شدید ضریب تخلیه جریان می‌گردد. این موضوع بر رفتار سرریزی این دستگاه در مقابل رفتار دریاچه‌ای آن تأکید دارد.

(۳) در مقادیر ثابت d/a ، افزایش پارامتر w/a کاهش مقدار C_d را به دنبال دارد.

(۴) با توجه به ایجاد مقطع کنترل توسط سرریز- دریاچه، ارتفاع این دستگاه (w)، باید به گونه‌ای باشد که بتواند قدرت کافی برای ایجاد مقطع کنترل داشته باشد. به این ترتیب، حداقل ارتفاع مناسب برای نصب این دریاچه، برابر $w/d > 1/8$ ، تشخیص داده شد.

(۵) با استفاده از تحلیل آماری معادله‌ای برای ضریب تخلیه مدل سرریز- دریاچه بر حسب پارامترهای بی بعد d/P ، d/a و P/a با خطای متوسط ۱۰ درصد پیشنهاد شده است. از این معادله می‌توان به راحتی برای تعیین مقدار C_d در شرایط و حالات مختلف استفاده کرد و در عین حال تأثیر عوامل مختلف از جمله موارد اشاره شده در بندهای ۲ و ۳ را تعیین کرد.

۶- قدردانی و تشکر

نویسندگان لازم می‌دانند از همکاری شرکت‌های آب و فاضلاب استان خراسان و مشهد به خاطر حمایت‌های مالی از طرح تحقیقاتی حاضر که طبق قرار داد شماره ۱۰۲۱۸/۱۱۱ مورخ ۸۱/۹/۲۱ انجام شده، تقدیر و تشکر نمایند.

۷- مراجع

- 1- Ferro, V. (2000). "Simultaneous Flow Over and Under a Gate." *J. Irrigation and Drainage Engineering*, 126(3), 190-193.
- 2- Negm, A., AL-Brahim, M., and Al-Hamid, A. A. (2002). "Combined Free Flow Over Weir and Below Gates." *J. Hydraulic Research*, 40, 359-365.
- 3- Rajaratnam, N., and Subramaniya, K. (1967). "Flow Equation for Sluice Gates." *J. Irrigation and Drainage Division, Proc. ASCE*, 93(IR.3), 167-186.
- 4- Swamee, P. K. (1993). "Critical Depth Equations for Irrigation Canals." *J. Irrigation and Drainage Engineering, ASCE*, 119 (2), 400-409.
- 5- Montes, J. S. (1997). "Irrotational Flow and Real Fluid Effects under Planar Sluice Gate." *J. Hydraulic Engineering*, 123(3), 219-232.
- 6- Kindsvater, C. E., and Carter, R. W. (1957). "Discharge Characteristics of Rectangular Thin Plate Weirs." *J. Hydraulic Division, Proc. ASCE*, 83, 1-36.
- 7- Ackers, P. (1978). *Weirs and flumes for flow measurements*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester, U.K.
- 8- Bos, M. G. (1989). *Discharge measurement structures*. International Institute for Land Reclamation and Improvement. Washington, The Netherlands, Pub. No. 20.
- 9- Rajaratnam, N., and Muralidhar, D. (1964). "End Depth for Circular Channels." *J. Hydraulic Division, Proc. ASCE*, 17-39.

۱۰- بی نام (۱۳۷۷). *راهنمای کاربران SPSS6*، جلد دوم، چاپ اول، انتشارات پرتو.