

برآورد ضریب دبی جریان در دریچه‌های قوسی

دکتر محمد علی شاهرخ نیا¹، دکتر محمود جوان²

1- مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس، بخش تحقیقات فنی و مهندسی

2- دانشگاه شیراز، بخش آبیاری

چکیده- یکی از انواع دریچه‌های کنترل‌کننده جریان آب که در دنیا در مقیاس وسیع از آن استفاده می‌شود، دریچه قوسی است. علی‌رغم کاربرد وسیع، تخمین دبی این دریچه‌ها کار ساده‌ای نیست و مطالعات چندانی در این زمینه انجام نشده است. در تحقیق حاضر چند رابطه جدید برای تخمین ضریب دبی جریان در دریچه‌های قوسی در شرایط مستغرق و آزاد ارائه شده که با استفاده از آنها، برآورد دبی جریان با دقت بیشتری انجام می‌شود. در این روابط ضریب دبی جریان، به عنوان تابعی از نسبت بار آبی به عمق بازشدگی دریچه و زاویه لبه دریچه با خط افق، در نظر گرفته شده است. برای به‌دست آوردن این روابط، از داده‌های آزمایشگاهی منتشر شده توسط محققان قبلی و برازش چند متغیره غیرخطی استفاده شده است. اعتبار روابط به دست آمده، با بررسی چند پارامتر آماری، نظیر میانگین خطای تخمین و بیشینه خطای تخمین و خطای استاندارد تخمین و همچنین با استفاده از چند مجموعه داده اندازه‌گیری شده میدانی، تأیید شد. در تحقیق حاضر محدوده دبی جریان مورد استفاده برای دریچه‌های قوسی آزاد در آزمایشگاه بین 0/030 تا 0/320 متر مکعب بر ثانیه و در میدان بین 0/110 تا 239/6 متر مکعب بر ثانیه بوده است. نتایج نشان داد که روابط به دست آمده، برای تخمین ضریب دبی جریان در دریچه‌های قوسی مستغرق و آزاد مناسب است. با استفاده از این روابط، متوسط خطای تخمین ضریب دبی را در حالت مستغرق، تا 0/02 و در حالت آزاد تا 0/01 می‌توان کاهش داد.

واژگان کلیدی: هیدرولیک، دریچه قوسی، جریان آزاد، جریان مستغرق.

1- مقدمه

مورد توجه قرار گرفته است. از مزایای این نوع دریچه، ساخت و نصب ساده و نیاز به نیروی کم برای تنظیم در زمان بهره‌برداری است. با وجود کاربرد نسبتاً وسیع این نوع دریچه در سراسر دنیا، تاکنون مطالعات کمی در زمینه روابط حاکم بر این نوع دریچه انجام شده است. شکل 1 دریچه قوسی را در شرایط جریان مستغرق نشان می‌دهد. روابط عمومی حاکم بر دریچه‌ها را کشویی در حالت جریان آزاد و مستغرق به صورت زیر می‌توان بیان کرد

(Rajaratnam et al., 1967):

$$q = C_d Z \sqrt{2gH} \quad \text{جریان آزاد} \quad (1)$$

$$q = C_d Z \sqrt{2g(H-h)} \quad \text{جریان مستغرق} \quad (2)$$

دریچه قوسی یا قطاعی¹ یکی از انواع دریچه‌هایی است که در مقیاس وسیع برای کنترل جریان یا سطح آب در سازه‌های هیدرولیکی مانند سدها و در سیستم‌های انتقال و توزیع آب مانند کانالهای آبیاری استفاده می‌شود. این نوع دریچه در واقع قطاعی از استوانه است که به وسیله بازوهای به یک محور متصل شده و حول این محور می‌تواند حرکت داشته باشد. دریچه قطاعی یا قوسی، شعاعی مشخص دارد و محور دریچه نسبت به کف کانال در فاصله‌ای قرار دارد که در تحقیقات بعضی از محققان

1. Radial Gate

Metzler (1948) ضریب دبی دریچه قوسی را به نسبت عمق آب بالادست دریچه (H)، به فاصله محور دریچه تا کف کانال (T) ربط داده و برای مقادیر مختلف بازشدگی دریچه و شعاع دریچه، گراف‌های متعددی را که شبیه به خطوط همترازی¹ هستند، ارائه کرده است.

مهندسان ارتش امریکا (US Army Engineers, 1959) ضریب دبی دریچه قوسی را در حالت جریان آزاد، به نسبت بازشدگی دریچه (Z) به عمق آب بالادست (H) و زاویه لبه دریچه با خط افقی (θ) ربط داده و نتیجه را به شکل گرافی ارائه کرده‌اند.

Toch (1955) رابطه تجربی زیر را برای تخمین ضریب تنگ‌شدگی جریان در دریچه قوسی آزاد (C_c) ارائه کرده است. در این رابطه فقط از زاویه لبه دریچه استفاده شده و اثر سایر خصوصیات جریان صرف نظر شده است.

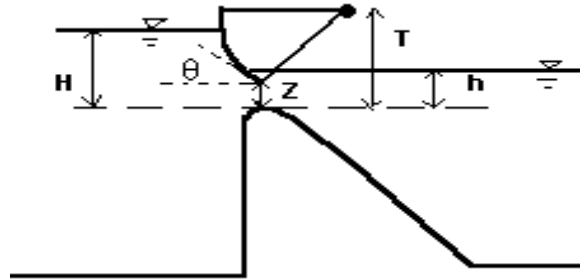
$$C_c = 1 - 0.75\left(\frac{\theta^\circ}{90}\right) + 0.36\left(\frac{\theta^\circ}{90}\right)^2 \quad (7)$$

ضریب دبی را از رابطه زیر می‌توان محاسبه کرد:

$$C_d = C_c \sqrt{\frac{1}{1 + C_c Z/H}} \quad (8)$$

Buyalski (1983) فرض کرده که منحنیهای ارائه شده توسط Metzler (1948) شبیه به منحنیهای مخروطی باشد و با توجه به این فرض، روابط تجربی پیچیده و متعددی را برای تخمین پارامترهای موجود در منحنیهای مخروطی ارائه کرده و ضریب دبی را با استفاده از این پارامترها تخمین زده است.

Clemmens (2002) با کاربرد توأم و حل عددی روابط انرژی و ممنتوم، دبی عبوری از این نوع دریچه را تخمین زده است. (Shahrokhnia et al. (2003) رابطه‌ای تجربی را که ضریب دبی جریان در آن حذف شده، برای تخمین دبی دریچه قوسی آزاد به دست آورده است. Ferro (2000) روابط بی‌بعد را برای دریچه‌های کشویی تخت برای حالت جریان آزاد و شاهرخ‌نیا و جوان (1382)



شکل 1 دریچه قوسی در شرایط جریان مستغرق

که در آنها q دبی جریان در واحد عرض دریچه (متر مکعب بر ثانیه بر متر)، C_d ضریب دبی جریان، Z بازشدگی دریچه (متر)، g شتاب ثقل (متر بر مجذور ثانیه) و H عمق آب بالادست دریچه (متر) و h عمق آب پایین دست دریچه (متر) است. روابط (1) و (2) را برای تمامی انواع دریچه‌ها، مانند دریچه‌های کشویی تخت، دریچه‌های قوسی، دریچه‌های مدور و سایر انواع دریچه‌ها می‌توان به کار برد، مشروط به آنکه تخمین درستی از ضریب دبی جریان (C_d) در هر حالت از بازشدگی دریچه یا عمق آب بالادست، در دست باشد. ضریب دبی دریچه، تابع خصوصیات هندسی دریچه مانند شکل، ابعاد و مقدار بازشدگی دریچه و نیز تابع خصوصیات جریان مانند عمق بالادست و خصوصیات سیال است. به علت پیچیدگی و نامشخص بودن رابطه بین ضریب دبی و پارامترهای مذکور، بیشتر محققین قبلی به ارائه روابطی تجربی یا گراف‌هایی برای تخمین ضریب دبی دریچه‌های با جریان آزاد بسنده کرده‌اند. به عنوان نمونه، روابط زیر برای تخمین ضریب دبی جریان آزاد در دریچه‌های کشویی تخت ارائه شده است:

$$C_d = 0.62 - 0.15 (Z/H)^{0.5} \quad (3)$$

$$C_d = 0.6 \exp(-0.3 Z/H) \quad (4)$$

$$C_d = 0.615 [1 + 0.3 (Z/H)]^{-1} \quad (5)$$

$$C_d = 0.611 \left(\frac{H-Z}{H+15Z} \right)^{0.072} \quad (6)$$

$$C_d = \alpha_1 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{\alpha_2} \left(\frac{H}{Z}\right)^{\alpha_3} \quad (11)$$

$$C_d = \beta_1 + \beta_2 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{\beta_3} + \beta_4 \left(\frac{H}{Z}\right)^{\beta_5} \quad (12)$$

در روابط (11) و (12)، α ، β ضرایب ثابتی است که با برآزش چند متغیره غیرخطی می‌توان آنها را تخمین زد. در این روابط (θ) دارای واحد درجه است. برای تخمین α ، β به داده‌های اندازه‌گیری شده مطمئنی - که شامل ضریب دبی جریان (Cd)، عمق آب بالادست (H) و بازشدگی دریچه (Z) باشد - نیاز داریم. بدین منظور از داده‌های اندازه‌گیری شده در آزمایشگاهی بویالسکی (Buyalski, 1983) که از دریچه قوسی به دست آمده، استفاده شد. این داده‌ها شامل 140 داده اندازه‌گیری شده دبی جریان، بازشدگی دریچه، عمق آب بالادست و ضریب دبی است که از دریچه قوسی آزاد واقع در یک فلوم آزمایشگاهی به دست آمده است. عرض این دریچه 711 و شعاع آن 702 میلیمتر بوده است.

در این تحقیق ضرایب ثابت روابط (11) و (12) از طریق برآزش چند متغیره غیرخطی و با استفاده از داده‌های گزارش شده بویالسکی تخمین زده شد. برای مقایسه و بررسی این روابط، متوسط خطای تخمین، خطای استاندارد و بیشینه خطای تخمین تعیین شد که این پارامترهای آماری را از روابط زیر می‌توان به دست آورد:

$$ME = \max |M_i - S_i|_{i=1}^n \quad (13)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |S_i - M_i| \quad (14)$$

$$SE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2 \right]^{0.5} \left(\frac{100}{M} \right) \quad (15)$$

در روابط (13)، (14) و (15)، ME و MAE و SE به ترتیب بیشینه خطا، میانگین خطای مطلق و خطای استاندارد است. M_i ، S_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده متغیر مورد نظر است. M میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد جفت نقاط اندازه‌گیری و تخمین زده شده است.

روابط بی‌بعد را برای دریچه‌های قوسی در حالت مستغرق و آزاد ارائه کرده است.

واضح است که روابط ریاضی به منظور تخمین ضریب دبی بسیار مفیدتر از گراف است، زیرا استفاده از روابط ریاضی دقت را افزایش می‌دهد و کاربرد آن ساده‌تر است. افزون بر این، ارائه روابط ساده برای تخمین ضریب دبی جریان، تخمین دبی را راحت‌تر می‌سازد که این موضوع، در مدیریت شبکه‌های آبیاری که - مسئولان تنظیم دریچه‌ها معمولاً افراد متخصصی نیستند - بیشتر اهمیت پیدا می‌کند. گرافها و روابط ریاضی قبلی، یا عمومیت نداشته یا مانند روابط ارائه شده توسط (Buyalski 1983) یا (Clemmens 2002) بسیار پیچیده است. در تحقیق حاضر سعی شده تا روابطی ساده و کلی - که بیشتر عوامل مؤثر بر جریان را در نظر بگیرد - ارائه شود تا دقت کافی و همچنین کاربرد ساده‌تری داشته باشند.

2- مواد و روشها

2-1- دریچه قوسی در جریان آزاد

یکی از پارامترهای مهم تأثیرگذار بر دبی عبوری از دریچه قوسی آزاد، زاویه لبه دریچه با افق (θ) است. رابطه این پارامتر را با شعاع دریچه (R)، بازشدگی دریچه (Z) و فاصله محور دریچه تا کف کانال (T)، به صورت زیر می‌توان بیان کرد:

$$\cos \theta = \frac{T - Z}{R} \quad (9)$$

بنابراین اگر ضریب دبی جریان به عنوان متغیری وابسته و تابعی از (θ) و ($\frac{H}{Z}$) در نظر گرفته شود، بیشتر عوامل مؤثر بر ضریب دبی جریان در مسأله وارد شده است؛ یعنی:

$$C_d = f\left(\frac{\theta}{90}, \frac{H}{Z}\right) \quad (10)$$

که f نشانگر تابعیت است. رابطه بین ضریب دبی جریان و زاویه لبه دریچه، عمق آب بالادست و بازشدگی دریچه را به دو شکل کلی زیر تعریف می‌کنیم:

به قرار زیر مرتبط کرد:

$$C_d = f_1(\theta/90, (H-h)/Z) \quad (16)$$

که در این رابطه f_1 نشانگر تابعیت و θ بر حسب درجه است. بنابراین می‌توان فرض کرد که ضریب دبی جریان در شرایط مستغرق به صورت زیر تعریف شود:

$$C_d = \psi_1(\theta/90)^{\psi_2} \left((H-h)/Z \right)^{\psi_3} \quad (17)$$

$$C_d = \sigma_1 + \sigma_2(\theta/90)^{\sigma_3} + \sigma_4 \left((H-h)/Z \right)^{\sigma_5} \quad (18)$$

در روابط (17) و (18) ضرایب ثابت ψ و σ را، در صورت دست داشتن داده‌های کافی درباره ضریب دبی جریان (C_d)، زاویه لبه دریچه (θ) و نسبت اختلاف عمق بالادست و پایین دست دریچه و بازشدگی $\left(\frac{H-h}{Z} \right)$ ، به وسیله برازش چند متغیره غیرخطی تخمین زد. در تحقیق حاضر با استفاده از 1400 داده - که توسط Buyalski (1983) از یک دریچه قوسی مستغرق در آزمایشگاه به دست آمده - ضرایب ψ و σ با برازش چند متغیره غیر خطی به دست آمده. Montes (1997) بیان کرده که در شرایطی که عدد رینولدز کمتر از 10000 باشد، تأثیر لزجت بر دبی جریان در دریچه‌های کشویی تخت، قابل اغماض نیست و در شرایطی که عدد رینولدز بیشتر از 10000 باشد، می‌توان از تأثیر لزجت بر دبی جریان صرف‌نظر کرد.

به منظور حصول اطمینان بیشتر از اعتبار روابط به دست آمده، از سه مجموعه داده اندازه‌گیری شده میدانی از دریچه‌های قوسی آزاد استفاده شد و مقایسه‌ای میان مقادیر ضریب دبی به دست آمده از روابط فوق و ضریب دبی به دست آمده از رابطه (1) با معلوم بودن دبی جریان انجام شد. از این 3 مجموعه داده اندازه‌گیری شده، یک مجموعه در این پژوهش اندازه‌گیری شده و دو مجموعه دیگر، از اطلاعات منتشر شده صفری نژاد (1370) و Webby (1999) حاصل شده است. اندازه‌گیری داده‌های دبی در پژوهش حاضر به وسیله دستگاه مولینه کالیبره شده در شبکه آبیاری درودزن فارس انجام شده است. جدول 1 حدود تغییرات مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی و آزمایشگاهی مورد استفاده را برای حالت جریان آزاد نشان می‌دهد.

2-2- دریچه قوسی مستغرق

همانگونه که پیشتر بیان شد، محققان قبلی [4, 8] ضریب دبی جریان را در دریچه قوسی مستغرق (با توجه به شکل 1)، به عمق آب بالادست (H)، عمق آب پایین دست (h)، بازشدگی جریان (Z)، فاصله محور دریچه تا کف کانال (T) و شعاع دریچه (R) وابسته دانسته‌اند. سه پارامتر بازشدگی دریچه، فاصله محور دریچه تا کف کانال و شعاع دریچه را می‌توان در زاویه لبه دریچه با خط افقی (θ) خلاصه کرد (رابطه 9). ضریب دبی جریان را که پارامتری بی‌بعد است، می‌توان به متغیرهای مستقل بی‌بعد،

جدول 1 مشخصات و دامنه تغییرات داده‌های آزمایشگاهی و میدانی مورد استفاده برای دریچه در جریان آزاد

تعداد داده‌ها	دامنه عرض دریچه (متر)	زاویه θ (درجه)	دامنه عمق آب بالادست (متر)	دامنه بازشدگی دریچه (متر)	دامنه دبی (متر مکعب بر ثانیه)	داده‌های مورد استفاده
140	0/711	77-49	0/73-0/13	0/28-0/04	0/32-0/03	Buyalski (1983) (آزمایشگاهی)
8	4-2	67-53	2/32-0/88	0/25-0/01	3/40-0/11	پژوهش حاضر (میدانی)

40	4-1	67-52	2/94-0/56	0/72-0/01	11/28-0/15	صفری نژاد (1370) (میدانی)
7	28-13/41	70-49	3/93-3/43	1/96-0/81	239/6-64/2	Webby (1999) (میدانی)

که در تحقیق حاضر ضرایب γ نیز به وسیله برازش چند متغیره غیرخطی تخمین زده شده است.

برای بررسی کارایی روابط فوق از سه پارامتر آماری بیشینه خطای تخمین، میانگین خطای تخمین و خطای استاندارد تخمین می‌توان بهره گرفت. به منظور حصول اطمینان از اعتبار روابط فوق در تحقیق حاضر، از چند مجموعه داده اندازه‌گیری شده میدانی از دریچه‌های قوسی مستغرق استفاده شده که یک سری از این داده‌ها توسط مؤلفان و بقیه داده‌ها از اطلاعات منتشر شده محققین قبلی اخذ گردیده است. در جدول 2 حدود تغییرات داده‌های میدانی مورد استفاده برای ارزیابی روابط مورد استفاده، آورده شده است. ضرایب دبی این دریچه‌های قوسی میدانی با استفاده از روابط 17، 18، 20، 21 و 23 تخمین زده شده و با مقادیر اندازه‌گیری شده آن که با استفاده از رابطه (2) به دست می‌آید، مقایسه شده است.

3- نتایج و بحث

3-1- دریچه قوسی در جریان آزاد

ضرایب α ، β به کار رفته در روابط (11) و (12) با استفاده از برازش چند متغیره غیرخطی و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی گزارش شده توسط (Buyalski 1983) تعیین شد. لذا این دو رابطه را به شکل زیر می‌توان برای دریچه‌های قوسی در جریان آزاد ارائه کرد.

Ansar (2001) برای تعیین عدد رینولدز در دریچه‌های کشویی رابطه زیر را ارائه کرده است:

$$R_n = \frac{q}{v} \quad (19)$$

که R_n عدد رینولدز، q دبی عبوری از واحد عرض دریچه و v لزجت سینماتیکی سیال است. در تحقیق حاضر با استفاده از رابطه (19)، عدد رینولدز در شرایط مختلف محاسبه و مشخص شد که در بیشتر حالتها، کمتر از 10000 است. بنابراین عدد رینولدز نیز در تعیین ضریب دبی جریان در دریچه‌های قوسی مستغرق دخالت داده شد و دو رابطه کلی زیر مورد آزمون قرار گرفت و ضرایب ثابت آنها به وسیله برازش چند متغیره غیرخطی و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی به دست آمده:

$$C_d = \lambda_1 \left(\frac{\theta}{90} \right)^{\lambda_2} \left(\frac{H-h}{Z} \right)^{\lambda_3} R_n^{\lambda_4} \quad (20)$$

$$C_d = \eta_1 + \eta_2 \left(\frac{\theta}{90} \right)^{\eta_3} + \eta_4 \left(\frac{H-h}{Z} \right)^{\eta_5} + \eta_6 R_n^{\eta_7} \quad (21)$$

که در این روابط ضرایب λ و η ضرایب ثابتی هستند. اگر رابطه بین ضریب دبی، عمق آب بالادست و پایین دست جریان و زاویه لبه دریچه به صورت زیر تعریف شود:

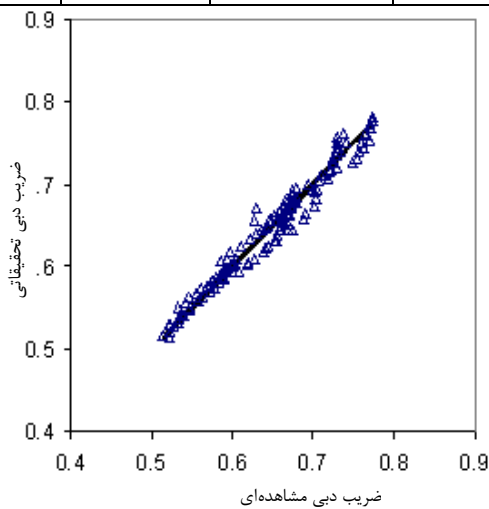
$$C_d = f_2 \left(\frac{\theta}{90}, \frac{H-h}{Z}, \frac{h}{Z} \right) \quad (22)$$

شکل کلی زیر را برای تخمین ضریب دبی جریان می‌توان در نظر گرفت:

$$C_d = \gamma_1 \left(\frac{\theta}{90} \right)^{\gamma_2} \left(\frac{H-h}{Z} \right)^{\gamma_3} \left(\frac{h}{Z} \right)^{\gamma_4} \quad (23)$$

جدول 2 مشخصات و دامنه تغییرات داده‌های آزمایشگاهی و میدانی مورد استفاده برای دریچه قوسی مستغرق

تعداد داده‌ها	دامنه عرض دریچه (متر)	دامنه عمق آب پایین دست (متر)	زاویه θ (درجه)	دامنه عمق آب بالادست (متر)	دامنه بازشدگی دریچه (متر)	دامنه دبی (متر مکعب بر ثانیه)	داده‌های مورد استفاده
1400	0/711	0/30-0/003	89-49	0/61-0/04	0/26-0/01	0/18-0/01	Buyalski (1983) (آزمایشگاهی)
252	10/98-22/86	1/77-7/27	88-52	2/63-7/47	0/244-6/998	0/59-209/02	Buyalski (1983) (میدانی)
2	4-2	0/94-0/75	58-53	1/67-0/90	0/20-0/01	3/765-0/05	پژوهش حاضر (میدانی)
10	4-2	1/29-0/35	62-48	1/80-0/80	0/37-0/02	4/33-0/10	صفری نژاد (1370) (میدانی)



شکل 2 مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی ضریب دبی از رابطه (24)

شکل 4 مقایسه مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای ضریب دبی را برای داده‌های میدانی نشان می‌دهد. با توجه به این شکلها و همخوانی نسبی مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای، ملاحظه می‌شود که روابط (24) و (25) را برای مقاصد عملی می‌توان استفاده کرد.

جدول 3 پارامترهای آماری محاسبه شده را برای روابط (24) و (25) نشان می‌دهد:

$$C_d = 0.46 \left(\frac{\theta}{90} \right)^{-0.36} \left(\frac{H}{Z} \right)^{0.12} \quad (24)$$

$$C_d = -0.27 + 0.08 \left(\frac{\theta}{90} \right)^{-1.49} + 0.66 \left(\frac{H}{Z} \right)^{0.10} \quad (25)$$

جدول 3 پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقایسه روابط دریچه قوسی

رابطه	پیشینه خطا (ME)	خطای میانگین (MAE)	خطای استاندارد (SE)	ضریب تعیین (R^2)
(24)	0/03	0/01	%1/98	0/97
(25)	0/04	0/01	%1/97	0/97

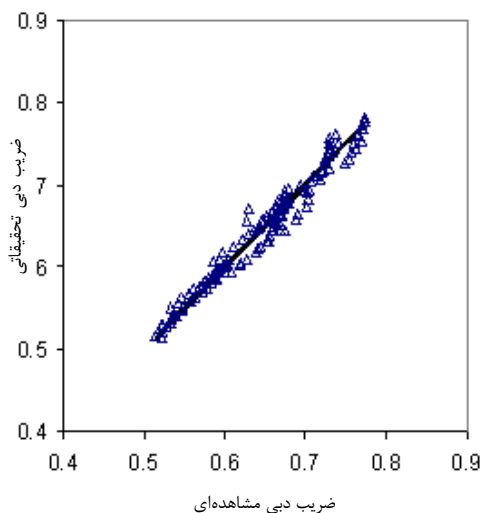
شکل 2 و 3 مقایسه مقادیر تخمینی ضریب دبی را با مقادیر مشاهده شده در آزمایشگاه، برای روابط (24) و (25) نشان می‌دهد.

پارامترهای آماری جدول 3 نشان می‌دهد که روابط (24) و (25) را می‌توان برای تخمین ضریب دبی جریان در دریچه‌های قوسی در جریان آزاد استفاده کرد. همانگونه که مشاهده شود، ضریب تعیین (R^2) برای روابط (24) و (25) برابر 97% است. درصد میانگین خطای میانگین تخمین برای روابط (24) و (25) به طور متوسط برابر 0/01 است. بیشینه خطای تخمین برای روابط (24) و (25) برابر 0/03 و 0/04 است. همچنین خطای استاندارد روابط (24) و (25) ناچیز است. حداقل خطای تخمین برای تمامی روابط برابر صفر بوده است.

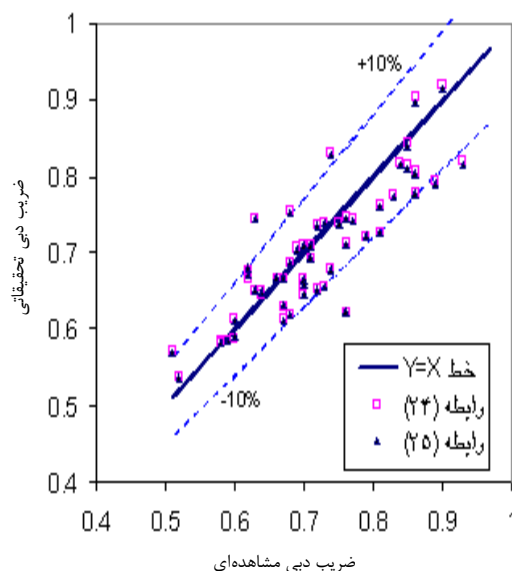
مقادیر میانگین و استاندارد خطای روابط (24) و (25) نشان می‌دهد که به طور متوسط، با خطای حدود 1 درصد ضریب دبی جریان را با استفاده از این روابط می‌توان تخمین زد. با توجه به این که ضریب دبی جریان، رابطه‌ای مستقیم و خطی با مقدار دبی جریان دارد، لذا با استفاده از روابط (24) و (25) با خطای 1% دبی جریان را می‌توان تخمین زد که خطای ناچیزی است. متوسط خطای تخمین روابط ارائه شده توسط (1983) Buyalski و Clemmens (2002)، بترتیب برابر 1/4%، 1% و برای روابط ارائه شده توسط (2003) Shahrokhnia et al. بین 2/7% و 6/5% و برای رابطه بی‌بعد بدست آمده توسط شاهرخ نیا و جوان (1382) برابر 2/5% بوده است. بنابراین مشاهده می‌شود که روابط به دست آمده در پژوهش حاضر، دقت بیشتری دارد.

اگر دو رابطه (24) و (25) مقایسه شوند، مشاهده می‌شود که بیشتر پارامترهای آماری مربوط به این دو رابطه یکی است و فقط بیشینه خطای رابطه (24)، اندکی از بیشینه خطای رابطه (25) کمتر شده است. بنابراین می‌توان گفت که دو رابطه (24) و (25) اعتبار تقریباً یکسانی از دیدگاه کاربردی دارند؛ اما رابطه (24) شکل ساده‌تری دارد لذا برای مقاصد عملی مناسب‌تر است.

شکل 4 که کاربرد روابط به دست آمده را در شرایط میدانی نشان می‌دهد، بیانگر این است که روابط به دست



شکل 3 مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی ضریب دبی از رابطه (25)



شکل 4- مقایسه مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای ضریب دبی با استفاده از روابط (24) و (25)

همانگونه که مشاهده می‌شود، خطای روابط به ازای بعضی از داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی بیشتر از 10% است که این ممکن است ناشی از خطا در اندازه‌گیری بعضی از داده‌های میدانی باشد. این مسأله تغییری در نتیجه کلی به وجود نمی‌آورد.

$$C_d = -0.23 - 0.33 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{1.27} + 0.27 \left(\frac{H-h}{Z}\right)^{0.32} + 0.08 R_n^{0.17} \quad (29)$$

$$C_d = 0.62 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{-0.06} \left(\frac{H-h}{Z}\right)^{0.37} \left(\frac{h}{Z}\right)^{-0.37} \quad (30)$$

جدول 4 پارامترهای آماری محاسبه شده برای مقایسه روابط دریچه قوسی مستغرق

رابطه	بیشینه خطا	میانگین خطا (MAE)	خطای استاندارد تعیین (SE)	ضریب تعیین (R ²)
(26)	0/26	0/05	%16/63	0/87
(27)	0/26	0/05	%16/66	0/87
(28)	0/27	0/05	%12/49	0/84
(29)	0/27	0/05	%12/45	0/84
(30)	0/13	0/02	%10/93	0/93

جدول 4 نشان می‌دهد که متوسط خطای تخمین ضریب دبی بوسیله روابط (26) و (27) برابر 0/05 است. بیشینه خطای تخمین 0/26 و ضریب تعیین (R²) رابطه برابر 0/87 است. مقدار خطای متوسط این تخمین که برابر 0/05 شده و شکل 5 و 6- که نشان دهنده مقایسه مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده ضریب دبی است - بیانگر آن است که این دو رابطه می‌توانند روابط مناسبی برای تخمین ضریب دبی در دریچه‌های قوسی مستغرق باشند. با توجه به این که بیشتر پارامترهای آماری این دو رابطه مشابهند، می‌توان نتیجه گرفت که هر دو رابطه، روابط مناسبی هستند، اما رابطه (26) شکل ساده‌تری دارد لذا برای مقاصد عملی کاربرد بیشتری می‌تواند داشته باشد. شکل 7 مقایسه مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده ضریب دبی مربوط به دریچه‌های قوسی میدانی مستغرق را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای، پراکندگی زیادی حول خط Y=X ندارند. بنابراین روابط (26) و (27) را می‌توان در عمل برای سایر دریچه‌های قوسی مستغرق کارگذاری شده نیز به کار برد. حداقل خطای تخمین برای تمامی روابط، بسیار ناچیز (صفر)

آمده در این تحقیق، برای مقاصد کاربردی نیز مناسب است. مشاهده می‌شود که محدوده کاربرد روابط به دست آمده - با توجه به جدول 1 وسیع بوده و محدوده وسیعی از دبی‌ها را شامل می‌شود. انحراف نسبی بعضی از نقاط از خط $y = x$ در این دو شکل می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری دبی در شرایط میدانی باشد زیرا با استفاده از ابزار فعلی موجود (مولینه)، اندازه‌گیری دبی جریان در کانال‌ها و سازه‌های کنترل کننده جریان، با مقداری خطا روبه رو است. این مسأله نیز بیانگر آن است که استفاده از روابط ریاضی - که در شرایط آزمایشگاهی کالیبره شده‌اند - خطای تخمین دبی را در کاربردها می‌تواند کاهش دهد.

3-2- دریچه قوسی مستغرق

با در نظر گرفتن روابط (17) و (18)، ضرایب ثابت ψ و σ از طریق برازش چند متغیره غیرخطی تخمین زده شد و در نتیجه ضریب دبی دریچه‌های قوسی مستغرق را به صورت زیر می‌توان تعریف کرد:

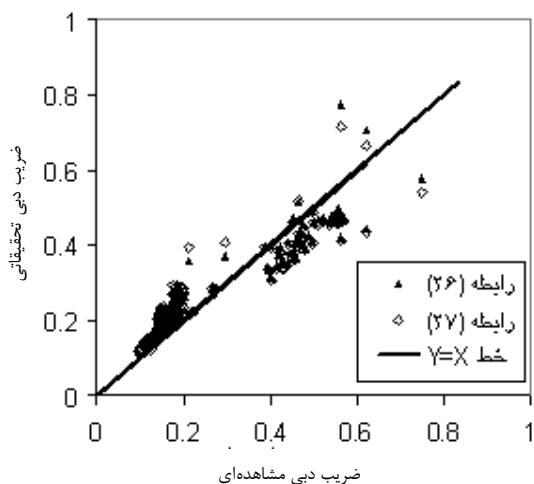
$$C_d = 0.53 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.87} \left(\frac{H-h}{Z}\right)^{0.33} \quad (26)$$

$$C_d = -0.32 + 0.2 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{1.32} + 0.57 \left(\frac{H-h}{Z}\right)^{0.20} \quad (27)$$

شکل 5 و 6 مقایسه مقادیر تخمینی ضریب دبی را با استفاده از روابط (26) و (27) و مقادیر اندازه‌گیری شده آن - که از رابطه (2) به دست آمده - نشان می‌دهد.

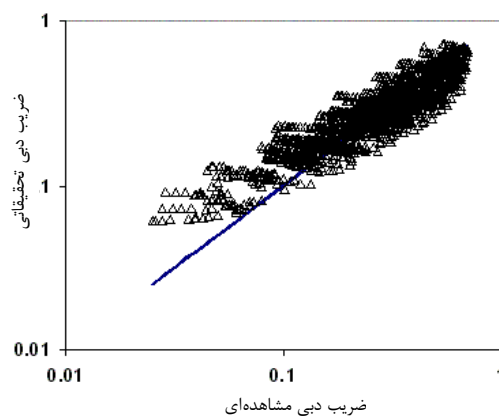
ضرایب ثابت روابط (20)، (21) و (23) نیز با برازش چند متغیره غیرخطی تخمین زده شد لذا این روابط را نیز می‌توان به صورت زیر تعریف کرد. جدول 4 پارامترهای آماری محاسبه شده را برای روابط (26) تا (30) نشان می‌دهد.

$$C_d = 0.02 \left(\frac{\theta}{90}\right)^{-0.39} \left(\frac{H-h}{Z}\right)^{0.26} R_n^{0.25} \quad (28)$$

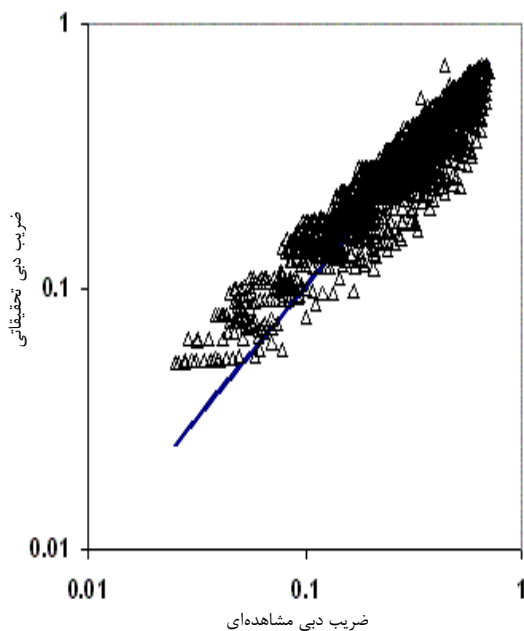


شکل 7 مقایسه مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای ضریب دبی با استفاده از روابط (26) و (27)

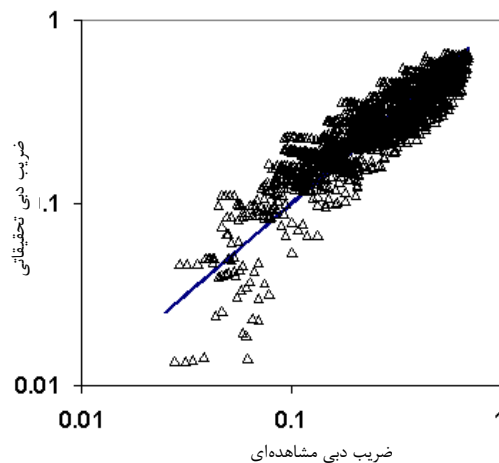
بوده است. محدوده کاربرد روابط به دست آمده با توجه به جدول 2 در حد داده‌های استفاده شده است.



شکل 5 مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی ضریب دبی از رابطه (26) با خط $Y=X$



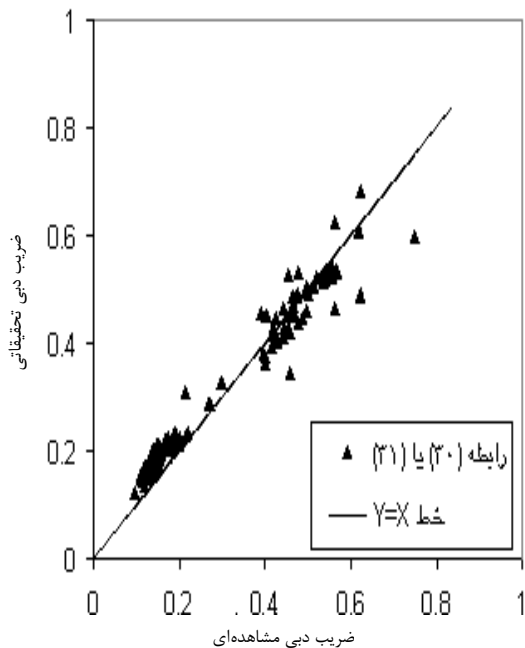
شکل 8 مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی ضریب دبی از رابطه (28) با خط $Y=X$



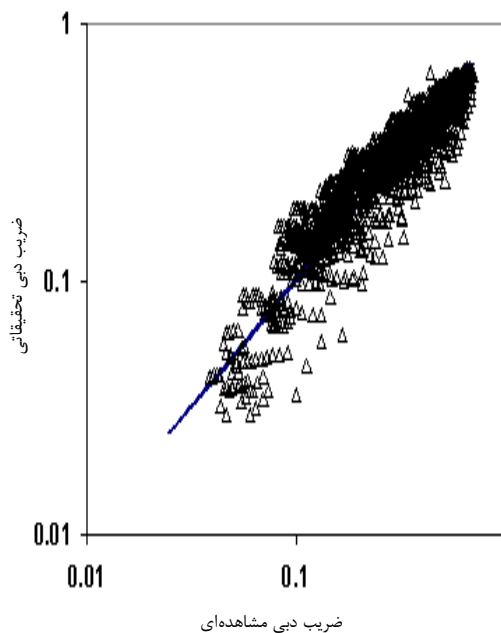
شکل 6 مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی ضریب دبی از رابطه (27)

شکل 11 مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمینی ضریب دبی دریچه‌های قوسی مستغرق میدانی را نشان می‌دهد. این شکلها نیز نشان دهنده همخوانی خوب میان مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده ضریب دبی است. جدول 4 نشان می‌دهد که خطای میانگین مربوط به روابط (28) و (29)، برابر 0/05 است.

شکل 8 و 9 مقایسه مقادیر تخمینی و اندازه‌گیری شده ضریب دبی را برای روابط (28) و (29) نشان می‌دهد. در این تحقیق به علت نبود داده‌های مورد نیاز، مقایسه مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای ضریب دبی برای دو رابطه (28) و (29) در شرایط میدانی ممکن نبود. مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین ضریب دبی را با استفاده از رابطه (30) یا (31) در شکل 10 می‌توان مشاهده کرد.



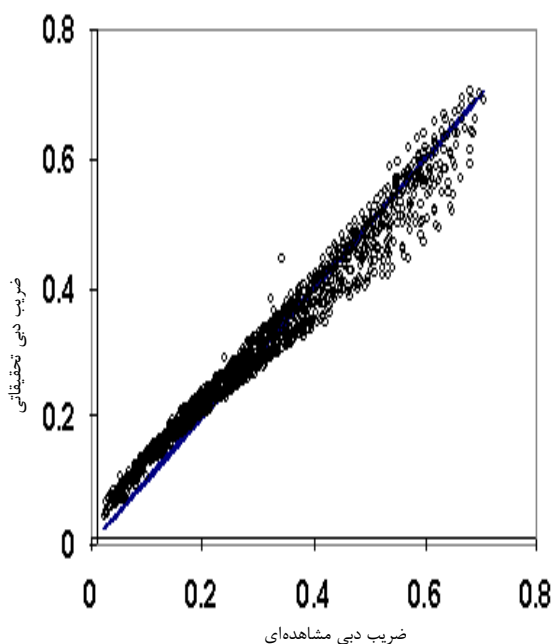
شکل 11 مقایسه مقادیر تخمینی و مشاهده‌ای ضریب دبی با استفاده از روابط (30) یا (31) با مقادیر مشاهده‌ای صحرائی



شکل 9 مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی ضریب دبی از رابطه (29)

خطای استاندارد دو رابطه (28) و (29) نیز در حدود 4 درصد از خطای استاندارد روابط (26) و (27) کمتر است. بنابراین با قطعیت نمی‌توان گفت که عدد رینولدز تأثیر چشمگیری بر دقت روابط به دست آمده برای تخمین ضریب دبی دریاچه‌های قوسی مستغرق دارد. برای مقاصد عملی نیز ساده‌تر آن است که از تأثیر عدد رینولدز صرف نظر شود، زیرا تعیین دقیق آن در شرایط میدانی و عملی مشکل است.

جدول 4 همچنین نشان می‌دهد که متوسط خطای تخمین ضریب دبی به وسیله رابطه (30)، از سایر رابطه‌ها کمتر و برابر 0/02 است. خطای استاندارد و بیشینه خطای این رابطه نیز از سایر روابط بسیار کمتر است. ضریب تعیین (R^2) رابطه به دست آمده نیز برابر 93% و از بقیه روابط بیشتر است. بنابراین می‌توان گفت مناسبترین رابطه برای تخمین ضریب دبی دریاچه‌های قوسی مستغرق رابطه (30) است. خطای تخمین دبی از روش کلمنز (Clemmens, 2002) برابر 4% و خطای تخمین ضریب دبی با استفاده از روابط ارائه شده توسط بویالسکی (Buyalski, 1983) برابر 4/1% و



شکل 10 مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی ضریب دبی از رابطه (30 یا 31) با خط $Y=X$

ضریب تعیین این دو رابطه از روابط (26) و (27) کمتر و بیشینه خطای آنها از بیشینه خطای دو رابطه (26) و (27) اندکی بیشتر است.

6- منابع

- [1] صفری نژاد، د. (1370). "تعیین روابط حاکم بر میزان دبی دریچه‌های قوسی نصب شده بر روی کانال های آبیاری"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- [2] شاهرخ نیا، م.ع. و جوان، م. (1382). رابطه بدون بعد دبی اشل در دریچه‌های قوسی مستغرق و آزاد، نشریه دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، 15 (2)، 283-291.
- [3] Ansar, M. (2001). "Discussion of 'Simultaneous flow over and under a gate,' by V. Ferro." J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE, 127(5), 325-328.
- [4] Buyalski, C. P. (1983). "Discharge algorithms for canal radial gates.", USBR, Denver, Colorado.
- [5] Clemmens, A.J. (2002). "New calibration method for submerged radial gates." Proceedings of 2002 USCID/EWRI conference, San Luis Obispo, California, July 9-12.
- [6] Cozzo, G. (1978). "Una formula per il calcolo del coefficiente d'efflusso delle luci sotto paratoie." L, Energia Electrica, 55 (11): 504-513.
- [7] Ferro, V. (2000). "Simultaneous flow over and under a gate," J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE, 126 (3), 190-193.
- [8] Metzler, D. E. (1948). « A model study of Tainter gate operation.», MSc. Thesis, Iowa State Univ., Iowa City, Iowa.
- [9] Montes, J. S. (1997). "Irrotational flow and real fluid effects under planar sluice gates." J. Hyd. Engrg., ASCE, 123(3), 219-232.
- [10] Nago, H. (1978). "Influence of gate-shapes on discharge coefficients.", Trans. Japanese Soc. Civ. Engrg., 10, 116-119.

رابطه بی‌بعد به دست آمده توسط شاهرخ نیا و جوان (1382)، برابر 6/2% بوده است. بنابراین نتیجه می‌شود که خطای رابطه (30) که در این پژوهش به دست آمده، است از روابط قبلی کمتر است.

با توجه به اینکه در رابطه (30) نمای عبارتهای $\left(\frac{h}{Z}\right)$ و $\left(\frac{H-h}{Z}\right)$ بترتیب برابر 0/37 و -0/37 برآورد شده، این دو عبارت را می‌توان ادغام و رابطه ساده‌تری را به صورت زیر ارائه کرد.

$$C_d = 0.62 \left(\theta/90\right)^{-0.06} \left(\frac{H-h}{h}\right)^{0.37} \quad (31)$$

حذف بازشدگی دریچه در رابطه (31) بدین معنا نیست که بازشدگی دریچه، بر ضریب دبی تاثیری ندارد، زیرا بازشدگی دریچه، بر θ اثر می‌گذارد.

4- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر روابطی به منظور تخمین مقدار ضریب دبی جریان در دریچه‌های قوسی در شرایط مستغرق و آزاد ارائه و با داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی مقایسه شد. نتایج نشان داد که این روابط از نظر دقت برآورد و سهولت استفاده، بهتر از روابط ارائه شده قبلی بوده و بترتیب با متوسط خطای 2% و 1% می‌تواند در شرایط مستغرق و آزاد، دبی جریان عبوری از زیر دریچه را تخمین بزنند. همچنین تاثیر عدد رینولدز بر ضریب دبی دریچه قابل اغماض است.

5- سپاسگزاری

مؤلفان از زحمات و همکاری های مسئولان سازمان آب منطقه ای استان فارس، شرکت بهره برداری از شبکه‌های آبیاری و زهکشی استان فارس، دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی و مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی فارس در انجام این تحقیق کمال امتنان و تشکر را دارند.

- [14] Swamee P.K. (1992). "Sluice-gate discharge equations.", J. Irrig. Drain. Engrg., ASCE, 118(1), 56-60.
- [15] Toch, A. (1955). "Discharge characteristics of Tainter gates." ASCE Trans., 120, 290-300.
- [16] U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station. (1959). Hydraulic Design Criteria, Charts 320-3 to 320-8.
- [17] Webby, M. G. (1999). "Discussion of 'Irrotational flow and real fluid effects under planar sluice gates,' by J. S. Montes." J. Hyd. Engrg., ASCE 126(2), 208-213.
- [11] Noutsopoulos, G.K. and S. Fanariotis. (1978). "Discussion of free flow immediately below sluice gates", by N. Rajaratnam, J. Hyd. Div., ASCE, 124(3), 451-454.
- [12] Rajaratnam, N. and K. Subramanya. (1967). "Flow equation for the sluice gate." J. Irrig. Drain. Div., ASCE, 93(IR3),167-186.
- [13] Shahrokhnia, M.A., M. Javan and A.R. Keshavarzi. (2003). "Application of HEC-RAS and MIKE 11 models to Doroodzan irrigation system", Proceedings of the 4th Iranian Hydraulic Conference, Shiraz Univ., Shiraz, Iran, Oct. 21-23.

Estimation of Discharge Coefficients in Radial Gates

M.A. Shahrokhnia (Research Center for Agriculture and Natural Resources of Fars Province)

M. Javan (Irrigation Department, Shiraz University)

Abstract

Radial gates are used widely as a kind of control gates, worldwide. Although they are used widely, discharge estimation is not easy and few studies have been cited in the literature. In the present study, new relationships for estimation of discharge coefficients under free flow and submerged conditions are obtained. In these relationships, the discharge coefficient was related to the gate lip angle and the ratio of the water head to the gate opening height. By using these relationships, the accuracy of estimated discharge is increased. For this purpose, nonlinear multiple regression analysis and a set of laboratory data were used. Some statistical parameters such as maximum error, average error and standard error and

three sets of field observed data were also used for evaluation of the relationships. One set of these data was collected in the present study and the others from previously published studies. The ranges of used observed discharge data were 0.030 to 0.320 and 0.010 to 0.180 m^3s^{-1} in laboratory under free flow and submerge conditions, respectively. For the field observed data, these ranges were 0.11 to 239.6 and 0.05 to 209.02 under free flow and submerged conditions.

Results showed that the relationships obtained could be appropriate for estimation of discharge coefficients in free flow and submerged radial gates. Relationships including gate lip angle, gate opening and upstream water depth are more reliable than the ones using only gate opening and upstream water depth. The average values of discharge estimation error could be about 2 and 1 percent under submerged and free flow conditions, respectively.

Keywords: Hydraulics, Free Flow, Submerged Flow, Radial Gates