

تخمین دبی جریان از زیر دریچه‌های کشویی و قطاعی با جریان آزاد

محمدحسین گل محمدی^۱

محمد کریم بیرامی^۲

(دریافت ۸۸/۶/۲۱ پذیرش ۸۹/۳/۲۲)

چکیده

تخمین دبی جریان از زیر دریچه‌های کشویی و قطاعی یک مسئله اساسی در بسیاری از مسائل مهندسی آب است. نتایج تحقیقات محققان در مورد این موضوع در گذشته کاملاً یکسان نیست و از این رو روشهای جدید می‌تواند کمک کننده و کارساز باشد. در تحقیق حاضر، معادله انرژی و پدیده افزایش هد فشار در اثر پروفیل سطح آب از زیر دریچه مورد توجه قرار گرفت. یک معادله نیمه تئوری برای تخمین ضریب فشردگی آب (C_c) از زیر دریچه کشویی ارائه شد. روش به کار گرفته شده، خطای مطلق متوسط را تا کمتر از ۳ درصد کاهش می‌دهد. همچنین برای تخمین دبی جریان از زیر دریچه قطاعی روش تشابه بین این دریچه با دریچه کشویی ارائه شد. معادله‌های نیمه تجربی برای هر دو دریچه کشویی و قطاعی با به کارگیری تعدادی از داده‌های معروف از دیگر مطالعات به دست آمد. داده‌های صحرائی و آزمایشگاهی بسیاری از محققان برای اثبات درست بودن روش پیشنهادی نیز به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که رابطه‌های پیشنهادی برای هر دو دریچه کشویی و قطاعی کاملاً مناسب هستند.

واژه‌های کلیدی: دریچه کشویی، دریچه قطاعی، دریچه‌های زیر گذر، دبی جریان، ضریب فشردگی

Estimation of Discharge For Free Flow Under Sluice and Radial Gates

Mohammad Hossein Golmohammadi¹

Mohammad Karim Beyrami²

(Received Sep. 12, 2009 Accepted June 12, 2010)

Abstract

Estimation of the flow discharge under sluice and radial gates is an essential problem in many water engineering works. The results obtained from previous studies showed a lot of controversy and therefore need further research on this subject. In this investigation, the energy equation was used and the concept of increasing the pressure head created by water surface profile under the gates was considered. A semi theoretical equation was obtained for the estimation of the contraction coefficient (C_c) of flow under the sluice gates. This method decreased the mean absolute error of C_c less than 3%. To estimate the free flow discharge under radial gates, an analogy approach between sluice gates and radial gates has been presented. Semi-experimental equations, for both gates, were obtained by using some known data of other investigators. Field and laboratory data of many researchers were also used for the verification of the presented method. Results of this investigation showed that the presented equations are perfectly suitable for both sluice and radial gates.

Keywords: Sluice Gate, Radial Gate, Underflow Gate, Flow Discharge, Contraction Coefficient.

1. Ph.D. Student of Water Eng., Dept. of Civil Eng., Isfahan University of Tech., Isfahan (Corresponding Author)
(+98 311) 3912650 m.golmohammadi@cv.iut.ac.ir

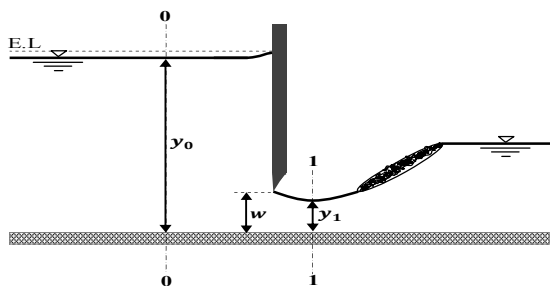
2. Emeritus Assoc. Prof. of Civil Eng., Isfahan University of Tech., Faculty Member of Islamic Azad University, Estahban Branch

۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
(نویسنده مسئول) ۳۹۱۲۶۵۰ (۰۳۱۱) m.golmohammadi@cv.iut.ac.ir

۲- دانشیار بازنشسته دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، عضو هیئت علمی
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد استهبان

۱- مقدمه

با توجه به هزینه‌های سنگینی که صرف ساخت و نگهداری سازه‌های هیدرولیکی می‌شود، کنترل میزان و همچنین سطح آب در کانال‌های آبرسانی ضروری است. به منظور کنترل مقدار آب رها شده از سدها و همچنین سطح آب در کانال‌های آبرسانی، نیاز به نصب سازه‌های مناسب بر روی سدها و کانال‌ها است تا به این ترتیب سطح آب و میزان دبی عبوری با مقدار تقاضا هماهنگ گردد.



شکل ۱- جزئیات عبور جریان از زیر دریچه کشویی در حالت آزاد

$$C_d = C_c \sqrt{\frac{1}{1 + C_c \left(\frac{w}{y_0}\right)}} \quad (2)$$

که در این رابطه

C_c ضریب فشردگی^۶ جریان در مقطع ۱ و به صورت زیر است

$$C_c = \frac{y_1}{w} \quad (3)$$

هندرسون^۷، برای ضریب فشردگی دریچه‌های کشویی مقدار ۰/۶۱ را توصیه می‌نماید [۳].

بیرامی رابطه زیر را برای ضریب فشردگی پیشنهاد می‌نماید [۴]

$$C_c = 0.57 + \frac{0.043}{1.1 - \frac{w}{y_0}} \quad (4)$$

گاربرشت^۸، با استفاده از مدل آزمایشگاهی، معادله زیر را برای تعیین ضریب دبی جریان ارائه کرد [۵]

$$C_d = 0.6468 - 0.1641 \sqrt{\left(\frac{w}{y_0}\right)} \quad (5)$$

با توجه به تحقیقات گذشته و رابطه ۱، نوتسپولس^۹ و فاناریوتیس^{۱۰} رابطه ۶ را با تفرانس $\pm 5\%$ برای تعیین ضریب دبی جریان در حالت آزاد، به دست آوردند [۶]. این رابطه بر اساس نتایج فانگمیر^{۱۱} و استرلکف^{۱۲}، نتایج تجربی هنری^{۱۳} و همچنین نتایج آزمایش‌های نوتسپولس و فاناریوتیس به دست آمد

$$C_d = 0.62 - 0.15 \sqrt{\frac{w}{y_0}} \quad (6)$$

به منظور رسیدن به اهداف مورد نظر، مهم‌ترین و معمول‌ترین سازه‌هایی که استفاده می‌گردد، دریچه‌هایی هستند که با شکل‌های مختلف بر روی سرریز آزاد یا داخل مجراهای آبگیری و کانال‌های آبرسانی به کار می‌روند. دریچه‌ها سازه‌های متحرکی هستند که در سازه‌های آبی به منظور قطع و وصل جریان، تنظیم دبی جریان و یا تنظیم سطح آب به کار می‌روند. بنابراین تخمین دبی عبوری از زیر دریچه‌ها یکی از مسائل مهم هیدرولیک است. دریچه‌ها انواع مختلفی دارند که در معمول‌ترین تقسیم‌بندی، به دو نوع کشویی و قطاعی تقسیم می‌شوند. این دریچه‌ها به دریچه‌های زیرگذر معروف شده‌اند.

۲- پیشینه علمی

۲-۱- دریچه‌های کشویی با جریان آزاد

شکل ۱ حالت آزاد جریان پس از عبور از زیر دریچه کشویی را نشان می‌دهد. در این شکل، y_0 عمق آب در بالادست دریچه^۱، w ارتفاع بازشدگی دریچه^۲ و y_1 عمق آب در پایین دست^۳ دریچه است. چنانچه ارتفاع بازشدگی دریچه کشویی کمتر از عمق بحرانی باشد، در مقطع ۱ در پایین دست دریچه، جریان فوق بحرانی خواهد بود. حال اگر عمق آب در پایاب کمتر از ارتفاع ثانویه پرش هیدرولیکی و یا مساوی آن باشد، پرش هیدرولیکی آزاد و در غیر این صورت پرش، مستغرق است.

راجاراتنام^۴ و سوبرامانیا^۵، رابطه عمومی زیر را برای محاسبه دبی عبوری از زیر دریچه کشویی با جریان آزاد ارائه نمودند [۱]

$$Q = C_d w b \sqrt{2gy_0} \quad (1)$$

که در این رابطه

Q دبی جریان، C_d ضریب دبی جریان، g شتاب ثقل و b عرض دریچه و برابر عرض کانال است.

در حالت جریان آزاد، با نوشتن معادله انرژی بین مقاطع ۰ و ۱ و بدون در نظر گرفتن افت انرژی، رابطه زیر حاصل می‌شود [۲]

⁶ Contraction Coefficient

⁷ Henderson

⁸ Garbrecht

⁹ Noutsopoulos

¹⁰ Fanariotis

¹¹ Fangmeier

¹² Strelkov

¹³ Henry

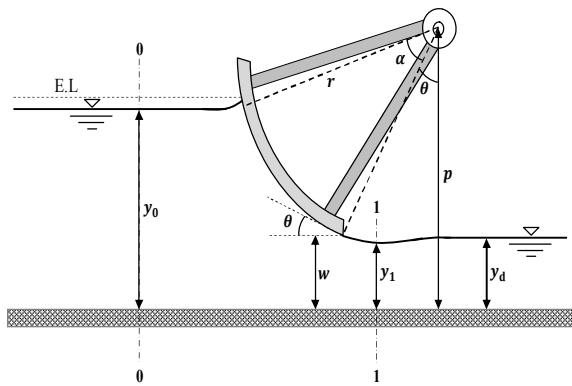
¹ Upstream Depth

² Gate Opening

³ Downstream Depth

⁴ Rajaratnam

⁵ Subramanya



شکل ۲- جزئیات عبور جریان از زیر دریچه قطاعی در حالت آزاد

ضریب فشردگی در این نوع دریچه‌ها نیز به صورت رابطه ۳ تعریف می‌شود. تاج^۸، رابطه تجربی زیر را برای تخمین ضریب فشردگی در دریچه‌های قطاعی با جریان آزاد ارائه کرد [۱۳]

$$C_c = 1 - 0.75\left(\frac{\theta^0}{90}\right) + 0.36\left(\frac{\theta^0}{90}\right)^2 \quad (11)$$

در این رابطه فقط از زاویه لبه دریچه استفاده شده است که با توجه به شکل ۲ به صورت زیر قابل محاسبه است

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{p-w}{r}\right) \quad (12)$$

و ضریب دبی را می‌توان از رابطه ۲ محاسبه نمود. بویالسکی، تحقیقات وسیعی به منظور تخمین ضریب دبی جریان در دریچه‌های قطاعی انجام داد و روابط تجربی پیچیده‌ای را برای آن به دست آورد [۹]. وی تعداد بسیار زیادی داده آزمایشگاهی را برای دریچه‌های قطاعی با جریان آزاد و مستغرق ارائه کرد.

شاهرخ‌نیا و جوان، تحقیقات متعددی بر روی دریچه‌های قطاعی به منظور ارائه روابطی برای به دست آوردن دبی عبوری از آنها انجام دادند. آنها ابتدا رابطه بی‌بعدی را برای دریچه‌های قطاعی با جریان آزاد ارائه کردند [۱۴]. سپس با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی منتشر شده توسط محققان قبلی و برازش چند متغیره غیرخطی، روابطی را برای برآورد ضریب دبی جریان در دریچه‌های قطاعی به دست آوردند [۱۵]. در بین رابطه‌های به دست آمده، رابطه زیر بهترین نتایج را به همراه داشته است

$$C_d = 0.46\left(\frac{\theta^0}{90}\right)^{-0.36}\left(\frac{y_0}{w}\right)^{0.12} \quad (13)$$

⁸ Toch

ناگو^۱ آزمایش‌هایی بر روی انواع مختلف دریچه‌های کشویی از نظر شکل هندسی، در یک فلوم به عرض ۴۰۰ میلی‌متر انجام داد. وی با توجه به رابطه ۱، رابطه زیر را به دست آورد [۶]

$$C_d = 0.6 \exp\left(-0.3 \frac{W}{y_0}\right) \quad (Y)$$

همچنین کوزو^۲ با استفاده از داده‌های جنتلینی^۳، رابطه ۸ را پیشنهاد نمود [۶]

$$C_d = 0.615\left(1 + 0.3 \frac{W}{y_0}\right)^{-1} \quad (8)$$

سوامی^۴، بر اساس رابطه ۱ و با فرض آزاد بودن جریان برای دریچه‌های کشویی، ضریب دبی را به صورت رابطه ۹ بهینه نمود [۷]

$$C_d = 0.611\left(\frac{y_0 - w}{y_0 + 15w}\right)^{0.072} \quad (9)$$

برهمند و ولی سامانی، با استفاده از روش بهینه‌سازی غیرخطی متریک و گرادینان مزدوج و نیز با توجه به رابطه ۱، توانستند رابطه ۱۰ را به دست آورند [۸]

$$C_d = -0.13 \times \left(\frac{y_0}{w}\right)^{0.714} + 0.22 \left(\frac{y_0}{w}\right)^{0.595} + 0.388 \quad (10)$$

۲-۲- دریچه‌های قطاعی با جریان آزاد

دریچه‌های قطاعی متداول‌ترین وسیله برای کنترل و تنظیم آب در سرریز سدها و کانال‌های انحرافی هستند. در طول بیش از نیم قرن، جدولها و نمودارهای زیادی برای تخمین دبی این دریچه‌ها ارائه شده است که به دلیل تناقض بین آنها، مهندسان و طراحان دچار مشکل می‌شوند. در بعضی موارد خطای دبی اندازه‌گیری شده با دبی اشل مورد استفاده، تفاوت فاحشی را نشان می‌دهد [۹]. نمودارهایی که توسط هندرسون، چاو^۵، بویالسکی^۶، فرنچ^۷ و سایر محققان بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و صحرایی ارائه شده است، اغلب با هم تناقض دارند و فقط برای دامنه خاص و محدود آن هم به صورت میانبایی معتبر هستند [۳، ۱۰-۱۲].

در شکل ۲ دریچه قطاعی با جریان آزاد دیده می‌شود. در این شکل y_0 عمق آب در بالا دست دریچه، w ارتفاع بازشدگی دریچه، y_1 عمق آب در مقطع فشردگی، y_d عمق آب در پایین دست دریچه، p ارتفاع محور دریچه، r شعاع دریچه و θ زاویه لبه دریچه است.

¹ Nago

² Cozzo

³ Gentilini

⁴ Swamee

⁵ Chow

⁶ Buyalski

⁷ French

در رابطه‌های ۲۰ و ۲۱، $y_1 = C_c \cdot w$ است و C_c از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود.

۳- روش پیشنهادی

۳-۱- دریاچه‌های کشویی با جریان آزاد

در روش پیشنهادی در این مقاله با استفاده از رابطه انرژی و مفهوم توزیع فشار در اثر انحنای سطح آب، روابطی برای تخمین ضریب دبی جریان ارائه شد. بررسی‌ها بر روی ۲۰ داده آزمایشگاهی حاصل از تحقیقات راجاراتنام و سوپرامانیا، و ۱۹ داده آزمایشگاهی (با حذف داده هفدهم جریان آزاد) حاصل از تحقیقات راجاراتنام، در حالت جریان آزاد صورت گرفت [۱ و ۲].

۳-۱-۱- ضریب فشردگی

ضریب فشردگی در تخمین دبی جریان از اهمیت بالایی برخوردار است به طوری که خطای کمتر در تخمین ضریب فشردگی، تخمین دقیق‌تر ضریب دبی جریان را به دنبال خواهد داشت.

قاعدتاً مقدار نسبت $\frac{W}{y_0}$ و ضریب C_c همواره بین صفر و یک است.

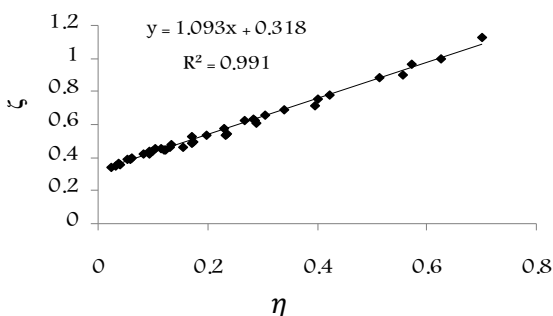
به‌طور مشخص، هرگاه $\frac{W}{y_0} = 0$ باشد آن‌گاه $C_c = 0$ و هرگاه

$\frac{W}{y_0} = 1$ باشد آن‌گاه $C_c = 1$ است. رابطه زیر، شرایط بالا را ارضا می‌کند

$$C_c = 1 - (1 - \eta^6)^{\frac{1}{5}} \quad (23)$$

در رابطه بالا، $\eta = \frac{W}{y_0}$ است.

بر اساس رابطه ۲۳ و با استفاده از داده‌های ذکر شده در ابتدای بخش، مقادیر η به دست آمد. با توجه به شکل ۳، بررسی‌ها نشان داد که η به صورت خطی با η رابطه دارد. با استفاده از برازش خطی



شکل ۳- تناسب ضریب η با η

این محققان در سال ۲۰۰۶ با استفاده از آنالیز ابعادی و برازش داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی توانستند رابطه بی‌بعدی به صورت زیر ارائه دهند که ضریب دبی جریان در آن حذف شده بود [۱۶]

$$\frac{y_c}{w} = 0.88 \left(\frac{H_E}{w} \right)^{0.4} \quad (14)$$

در رابطه ۱۴، y_c عمق بحرانی در کانال است و از رابطه زیر به دست می‌آید

$$y_c = \left(\frac{q^2}{g} \right)^{(1/3)} \quad (15)$$

همچنین H_E به صورت زیر تعریف می‌شود

$$H_E = y_0 + \frac{v_0^2}{2g} - y_d \quad (16)$$

در روابط بالا

q دبی در واحد عرض و v_0 سرعت در بالادست دریاچه قطاعی است.

شاهرخ‌نیا و جوان، رابطه کلی زیر را نیز برای تخمین دبی جریان از زیر دریاچه قطاعی با جریان آزاد پیشنهاد کردند

$$Q = 0.57bw\sqrt{2gy_0} \quad (17)$$

بیرامی و یوسفیان در سال ۱۳۸۶، با استفاده از تلفیق رابطه‌های انرژی و اندازه حرکت و متوسط‌گیری از آنها و همچنین برازش داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی، رابطه دبی عبوری از زیر دریاچه قطاعی با جریان آزاد را به صورت زیر ارائه دادند [۱۷]

$$Q_{fc} = A_f \cdot Q_f \quad (18)$$

Q_f در رابطه بالا از متوسط‌گیری دبی با استفاده از معادله انرژی $(Q_f(e))$ و معادله اندازه حرکت $(Q_f(m))$ به صورت زیر به دست می‌آید

$$Q_f = \frac{Q_f(e) + Q_f(m)}{2} \quad (19)$$

$Q_f(e)$ و $Q_f(m)$ از رابطه‌های زیر به دست می‌آیند

$$Q_f(e) = \frac{\sqrt{2gby_1y_0}}{\sqrt{y_1 + y_0}} \quad (20)$$

$$Q_f(m) = \frac{b}{2} \sqrt{\frac{2gy_1y_0[y_0^2 - y_1^2 - (y_0 - w)^2]}{y_0 - y_1}} \quad (21)$$

ضریب A_f در رابطه ۱۸ به صورت زیر ارائه شده است

$$A_f = \frac{Q_{exp}}{Q_f} = 1.0619 \left(\frac{w}{y_0} \right)^4 - 2.2646 \left(\frac{w}{y_0} \right)^3 + \quad (22)$$

$$2.0548 \left(\frac{w}{y_0} \right)^2 - 1.1129 \frac{w}{y_0} + 1.1769$$

داده‌های به دست آمده، رابطه زیر برای ξ حاصل می‌شود

$$\xi = 1.093\eta + 0.318 \quad (24)$$

۳-۱-۲- ضریب دبی جریان در دریاچه‌های کشویی

اصولاً انحناى محدب منحنی‌های سطح آب باعث کاهش فشار و انحناى مقعر آنها باعث افزایش فشار می‌شود. هنگامی که جریان از زیر دریاچه کشویی خارج می‌شود یک انحناى مقعر در سطح آب رخ می‌دهد (شکل ۱). بنابراین فشار در مقطع ۱ افزایش می‌یابد. با توجه به این موضوع، این تغییرات را می‌توان به‌طور کلی در معادله انرژی به‌صورت زیر نشان داد

$$y_0 + \frac{q^2}{2gy_0^2} = y_1 \times C + \frac{q^2}{2gy_1^2} \quad (25)$$

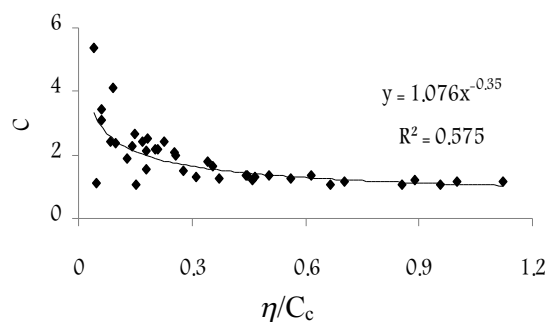
که در این رابطه

q دبی در واحد عرض و C ضریبی است که مقدار آن بزرگ‌تر از یک است.

با استفاده از داده‌های ذکر شده در ابتدای این بخش، ضریب C به دست می‌آید. با توجه به شکل ۴، بررسی‌ها نشان داد که C

متناسب با نسبت $\frac{\eta}{C_c}$ است. بنابراین می‌توان رابطه ۲۵ را به‌صورت معادله غیرخطی زیر بازنویسی نمود

$$y_0 + \frac{q^2}{2gy_0^2} = y_1 \times \left(\frac{\eta}{C_c}\right)^n + \frac{q^2}{2gy_1^2} \quad (26)$$



شکل ۴- تناسب ضریب C با نسبت $\frac{\eta}{C_c}$

با استفاده از رابطه‌های ۱ و ۲۶، ضریب دبی جریان به‌صورت زیر حاصل می‌شود

$$C_d = C_c \sqrt{\frac{1 - (C_c^{1-n} \eta^{1+n})}{1 - (C_c \eta)^2}}; \eta \neq 0; 1 \quad (27)$$

C_c از رابطه ۲۳ و دبی جریان نیز از رابطه ۱ محاسبه می‌شود. با توجه به داده‌های ذکر شده در ابتدای این بخش، مشاهده شد که برای دریاچه کشویی $n = 0.46$ است.

۳-۲- دریاچه‌های قطاعی با جریان آزاد

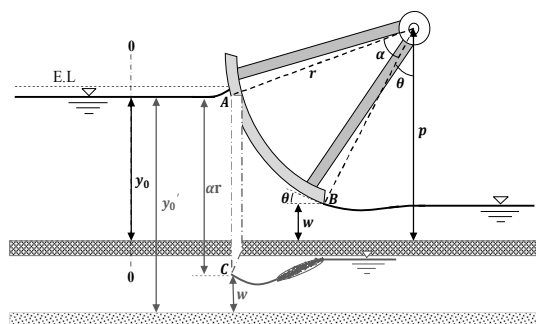
در روش پیشنهادی در این مقاله برای به دست آوردن دبی جریان از زیر دریاچه‌های قطاعی، بررسی‌ها بر روی ۱۷۹ داده آزمایشگاهی بویالسکی صورت گرفت. در اینجا، به دلیل عدم دسترسی به ضریب C_c در داده‌های ذکر شده و همچنین استفاده از رابطه‌های مربوط به دریاچه کشویی، یک شبیه‌سازی ساده از دریاچه قطاعی به دریاچه کشویی انجام گرفت. به این منظور با توجه به شکل ۵، با فرض یکسان بودن سطح ترشده از دریاچه قطاعی و دریاچه کشویی شبیه‌سازی شده، مقدار y_0' به‌صورت زیر به دست می‌آید

$$AS_{sim} = A_R \Rightarrow b(y_0' - w) = b(\alpha r) \Rightarrow y_0' = \alpha r + w \quad (28)$$

که در روابط بالا

AS_{sim} مساحت سطح تر شده دریاچه کشویی شبیه‌سازی شده، A_R مساحت سطح تر شده دریاچه قطاعی مورد نظر، b عرض دریاچه، y_0' عمق معادل آب در بالادست دریاچه کشویی شبیه‌سازی شده و α زاویه قطاعی از دریاچه است که با آب در تماس است و بر حسب رادیان بیان می‌شود. با توجه به شکل ۵، α از رابطه ۲۹ به دست می‌آید

$$\alpha = \cos^{-1}\left(\frac{P - y_0}{r}\right) - \theta \quad (29)$$

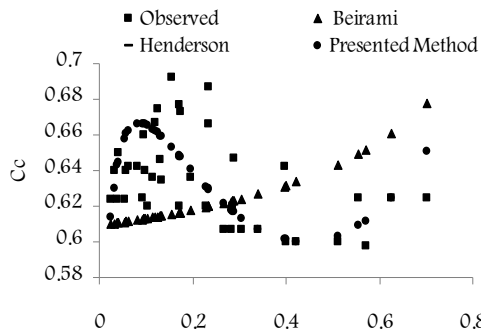


شکل ۵- شبیه‌سازی دریاچه قطاعی به دریاچه کشویی و جزئیات مربوط به جریان عبوری از زیر آن

بنابراین در این شبیه‌سازی، فاصله طی شده از نقطه A تا B بر روی دریاچه قطاعی در شکل ۵ با فاصله طی شده از نقطه A تا C بر روی دریاچه کشویی شبیه‌سازی شده یکسان است. به این ترتیب با قراردادن y_0' به جای y_0 در رابطه‌های مربوط به دریاچه کشویی می‌توان دبی عبوری از زیر دریاچه قطاعی را به‌صورت زیر محاسبه نمود

$$Q = C_d w b \sqrt{2gy_0'} \quad (30)$$

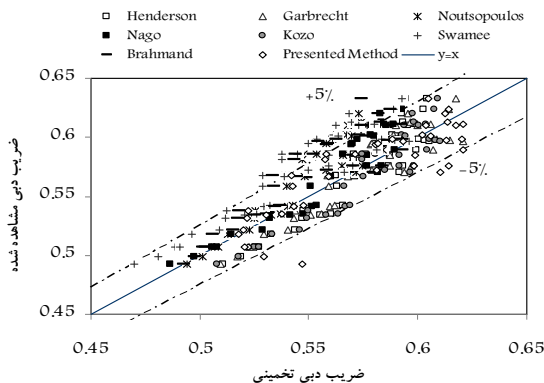
با توجه به رابطه ۲۷، C_d از رابطه زیر محاسبه می‌شود



شکل ۶- مقایسه تخمین ضریب فشردگی با استفاده از رابطه‌های ارائه شده

جدول ۱- مقایسه تخمین ضریب فشردگی

رابطه	میانگین خطای مطلق (%)
هندرسون	۴/۲۸
بیرامی	۴/۷۵
روش پیشنهادی	۲/۹۴



شکل ۷- مقایسه ضریب دبی تخمینی و ضریب دبی مشاهده شده آزمایشگاهی با حالت ایده‌آل برای داده‌های راجاراتنام و سویرامانیا

جدول ۲- مقایسه ضریب دبی تخمینی با استفاده از رابطه‌های محققان قبلی و روش پیشنهادی

نام رابطه	میانگین خطای مطلق (%)
هندرسون	۲/۶۲
گاربرشت	۲/۴۹
نوتسپولس و فاناریوتیس	۳/۱۱
ناگو	۲/۳۸
کوزو	۲/۶۱
سوامی	۴/۵۸
برهمند و ولی سامانی	۳/۵۳
روش پیشنهادی	۲/۶۳

$$C_d = C'_c \sqrt{\frac{1 - (C'_c)^{1-n} \eta^{1+n}}{1 - (C'_c \eta)^2}}; \eta \neq 0; 1 \quad (31)$$

که در این رابطه

$C'_c = \frac{W}{Y_0}$ و $\eta = \frac{C'_c}{C'_c}$ ، ضریب فشردگی در دریچه کشویی شبیه‌سازی شده است و با جایگزین کردن η به جای η در رابطه ۲۳ به دست می‌آید. با توجه به ۱۷۹ داده بویالسکی مشاهده شد که برای دریچه قطاعی در رابطه ۳۱، $n = 1/23$ است.

۴- ارائه و ارزیابی نتایج

در روش پیشنهادی با استفاده از معادله انرژی و مفهوم افزایش فشار در اثر انحنای مقعر سطح آب، روابطی ساده و ابتکاری به منظور تخمین دبی عبوری از زیر دریچه‌های کشویی و قطاعی با جریان آزاد ارائه شد. برای مقایسه روابط ارائه شده، بیشینه خطای مطلق^۱ و میانگین قدرمطلق خطا^۲، تعیین گردید

$$ME = \max \left[\frac{|M_i - S_i|}{M_i} \times 100 \right]_{i=1}^N \quad (32)$$

$$AVE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{M_i - S_i}{M_i} \right| \times 100 \quad (33)$$

که در این روابط

M_i و S_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده متغیر مورد نظر و N تعداد کل متغیرها است.

۴-۱-۴- دریچه کشویی با جریان آزاد

۴-۱-۱-۴- ضریب فشردگی

شکل ۶ و جدول ۱، مقایسه مقادیر تخمینی ضریب فشردگی از رابطه ۲۳ و تحقیقات سایر محققان، با مقادیر مشاهده شده آزمایشگاهی حاصل از تحقیقات راجاراتنام و سویرامانیا را نشان می‌دهد.

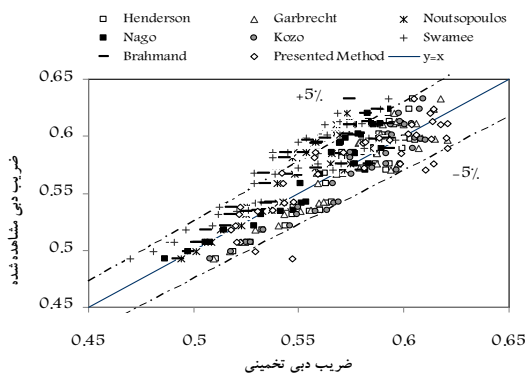
۴-۱-۲- ضریب دبی جریان

شکل ۷ و جدول ۲، مقایسه مقادیر تخمینی دبی جریان را با استفاده از رابطه ۲۷ و تحقیقات سایر محققان نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر تخمینی و مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی، تطابق خوبی با خط $y=x$ داشته و در محدوده خطای قابل قبولی قرار

¹ Maximum Absolute Error (ME)

² Mean Absolute Error (AVE)

تطابق خوبی با خط $y=x$ دارند. جدول ۵ نیز مقایسه بین رابطه حاصل از روش پیشنهادی با روابط محققان قبلی را نشان می‌دهد.



شکل ۸- مقایسه دبی تخمینی و دبی مشاهده شده آزمایشگاهی از زیر دریچه قطاعی با حالت ایده‌آل برای داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی

جدول ۵- مقایسه دبی تخمینی و آزمایشگاهی از زیر دریچه قطاعی با حالت ایده‌آل برای داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی

رابطه	میانگین خطای مطلق (%)
تاچ (۱۹۵۵)	۴/۸۵
شاهرخ‌نیا و جوان (۱۳۸۴)	۱/۸۱
شاهرخ‌نیا و جوان (۲۰۰۶)	۱۲/۱۲
بیرامی و یوسفیان (۱۳۸۶)	۷/۹۵
روش پیشنهادی	۲/۸۸

به منظور مقایسه روش پیشنهادی ارائه شده با تحقیقات محققان قبلی، از ۷ داده میدانی حاصل از تحقیقات ویبی^۲ برای جریان آزاد در دریچه‌های قطاعی استفاده شد [۲۰]. نتایج در جدول ۶ ارائه

جدول ۶- مقایسه رابطه ارائه شده برای داده‌های میدانی دریچه قطاعی با روابط قبلی برای داده‌های میدانی حاصل از تحقیقات ویبی

رابطه	میانگین خطای مطلق (%)	بیشینه خطای مطلق (%)
تاچ (۱۹۵۵)	۲/۷۲	۵/۸۴
شاهرخ‌نیا و جوان (۱۳۸۴)	۳/۴۲	۷/۹۷
شاهرخ‌نیا و جوان (۲۰۰۶)	۷/۷۳	۱۵/۵۵
بیرامی و یوسفیان (۱۳۸۶)	۷/۸۹	۱۱/۴۸
روش پیشنهادی	۲/۶۶	۴/۱۳

² Webby

دارند. به منظور مقایسه روش پیشنهادی ارائه شده با تحقیقات محققان قبلی، از داده‌های میدانی دریچه کشویی شبکه شاوور (نهر لشکرآباد- ایران) و داده‌های ایساک^۱، استفاده شد [۱۸ و ۱۹]. این داده‌ها در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳- اطلاعات دریچه کشویی

پارامتر	شبکه شاوور	ایساک
تعداد دریچه	۲	۱
$y_0(m)$	۱/۷۸	۰/۲۹۷
$w(m)$	۰/۶۸	۰/۰۹۴
$q(m^3/s.m)$	۴/۱۳۲	۰/۱۲۱
وضعیت جریان در پایین دست دریچه	آزاد	آزاد

جدول ۴- مقایسه رابطه ارائه شده برای دریچه کشویی با روابط قبلی برای داده‌های میدانی جدول ۳

نام رابطه	میانگین خطای مطلق (%)	بیشینه خطای مطلق (%)
هندرسون	۴/۵۱	۶/۸۳
گاربرشت	۳/۷۶	۳/۷۷
نوتسپولس و فاناریوتیس	۲/۲۶	۲/۵۴
ناگو	۲/۰۸	۴/۰۵
کوزو	۵/۰۵	۷/۳۰
سوامی	۲/۰۵	۴/۰۵
برهمند و ولی سامانی	۲/۱۴	۳/۲۳
روش پیشنهادی	۱/۹۲	۱/۹۳

نتایج حاصل از روابط ارائه شده، در جدول ۴ آمده است.

مشاهده می‌شود که میانگین خطای مطلق برابر ۱/۹۲ درصد است که در مقایسه با روابط سایر محققان، نشان دهنده مناسب بودن رابطه‌های ارائه شده در این تحقیق برای تخمین دبی عبوری از زیر دریچه کشویی با جریان آزاد است.

۲-۴- دریچه قطاعی با جریان آزاد

در این مطالعه به منظور بررسی روابط ارائه شده، از ۱۷۹ داده آزمایشگاهی حاصل از تحقیقات بویالسکی استفاده شد. شکل ۸ میزان تطابق مقادیر تخمینی دبی جریان با استفاده از رابطه ۳۰ و تحقیقات سایر محققان را با حالت ایده‌آل نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقادیر تخمینی و مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی

¹ Isaacs

شده است. مشاهده می‌شود که میانگین خطای مطلق برابر ۲/۶۶ درصد است که در مقایسه با روابط سایر محققان، نشان دهنده تطابق خوب نتایج به دست آمده با داده‌های میدانی است.

۵- نتیجه‌گیری

در روش پیشنهادی حاضر، بر اساس معادله انرژی و مفهوم افزایش فشار در اثر انحنای مقعر سطح آب، روابطی برای تخمین ضریب فشردگی و دبی جریان در دریچه‌های کشویی و قطاعی با جریان آزاد ارائه شد. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های میدانی، مقایسه‌ای بین روش پیشنهادی و تحقیقات محققان قبلی صورت گرفت. بر اساس روابط ارائه شده، با داشتن عمق آب در بالادست دریچه و میزان بازشدگی دریچه، به راحتی و با دقت مناسب می‌توان ضریب فشردگی و دبی جریان را در دریچه‌های کشویی با جریان

آزاد محاسبه نمود. میانگین خطای مطلق تخمین ضریب فشردگی برابر ۲/۹۴ درصد به دست آمد. همچنین میانگین خطای مطلق تخمین دبی جریان در دریچه کشویی برای داده‌های آزمایشگاهی برابر ۲/۶۳ درصد و برای داده‌های میدانی برابر ۱/۹۲ درصد به دست آمد. در دریچه‌های قطاعی نیز با یک شبیه‌سازی ساده و با استفاده از رابطه‌های مربوط به دریچه کشویی، دبی جریان تخمین زده شد. میانگین خطای مطلق تخمین دبی جریان در دریچه قطاعی برای داده‌های آزمایشگاهی برابر ۲/۸۸ درصد و برای داده‌های میدانی برابر ۲/۶۶ درصد به دست آمد. بنابراین روش پیشنهادی در مقایسه با روش سایر محققان از کارایی مناسبی برخوردار است و با استفاده از آن می‌توان دبی جریان را از زیر دریچه‌های کشویی و قطاعی با خطای قابل قبول به دست آورد.

۶- مراجع

- 1- Rajaratnam, N., and Subramanya, K. (1967). "Flow equation for the sluice gate." *J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng.*, 93(4), 57-77.
- 2- Rajaratnam, N. (1977). "Free flow immediately below sluice gates." *J. of the Hydraulic Division*, 4, 345-351.
- 3- Henderson, F. M. (1966). *Open channel flow.*, Macmillan Publishing Co. New York.
- 4- Beirami, M. K. (1997). *Water conveyance structures*, IUT Press, Isfahan. (In Persian)
- 5- Garbrecht, G. (1977). "Discussion of discharge computation at river control structures." *J. Hydr. Div.*, 104(12), 1481-1484.
- 6- Spheerli, J., and Hager, W. H. (1999). "Discussion of irrotational flow and real fluid effects under planer gates, by J. S. montes." *J. Hydraul. Eng.*, 125(2), 208-210.
- 7- Swamee, P. K. (1992). "Sluice gate discharge equations." *J. Irrig. And Drain. Eng., ASCE*, 118(1), 56-60.
- 8- Barahmand, N., and Vali Samani, H. M. (2006). "Optimization methods using non-metric variable and conjugate method to obtain equations to calculate coefficient in sluice gate." *National Conf. on Irrigation and Drainage Networks Management*, Tehran. (In Persian)
- 9- Zolghi, A. (2005). "Flow discharge coefficient of hydraulic radial gates." M.Sc. Thesis of Water Structures, Shahid Chamran University, Ahwaz. (In Persian)
- 10- Chow, V. T. (1966). *Open channel flow*, McGraw-Hill., USA.
- 11- Buyalski, C. P. (1983). *Discharge algorithms for canal radial gates*, Engineering and Research Center, U. S. Bureau of Reclamation, Denver.
- 12- French, H. R. (1987). *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill., USA.
- 13- Toch, A. (1955). "Discharge characteristics of tainter gates." *ASCE Trans. Am. Soc. Civ. Eng.*, 120, 290-300.
- 14- Shhrokhnia, M. A., and Javan, M. (2003). "Dimensionless stage discharge relationship for free and submerged flow under radial gates." *J. of School of Eng. of Ferdowsi University of Mashhad*, 15 (2), 283-291. (In Persian)
- 15- Shahrokhnia, M. A., and Javan, M. (2005). "Estimation of the discharge coefficient for radial gates." *J. of Hydraulic*, 1(1), 1-11. (In Persian)
- 16- Shahrokhnia, M. A., and Javan, M. (2006). "Dimensionless stage-discharge relationship in radial gates." *J. Irrig. Drain Eng.*, 132(4), 345-351.
- 17- Beirami, M. K., and Yousefian, M. (2007). "Estimation of flow discharge under sluice gates using both the energy and momentum equations." *3rd National Congress on Civil Eng.*, Tehran. (In Persian)
- 18- Dezab. (2003). *Calibration report of intake gates of kheirabad and shawor dams*, Ahwaz. (In Persian)
- 19- Isaacs, L.T. (1977). "Numerical solution for flow under sluice gates." *J. of Hydraulic Division*, 103 (5), 473-481.
- 20- Webby, M. G. (1999). "Discussion of irrotational flow and real fluid effects under planar sluice gates." *J. Hydraul. Eng.*, 125(2), 210-212.