

## اثر شیب صفحه دریچه کشوئی بر ویژگی‌های هیدرولیکی آن

رسول ایلخانی پور زینالی<sup>۱\*</sup>، سید حبیب موسوی جهرمی<sup>۲</sup>، سید محمود کاشفی پور دزفولی<sup>۲</sup> و منوچهر فتحی مقدم<sup>۲</sup>

۱) دانشجوی دکتری؛ گروه سازه‌های آبی؛ دانشکده مهندسی علوم آب؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران

\*نویسنده مسئول مکاتبات: [ilkhanipour.bavram@gmail.com](mailto:ilkhanipour.bavram@gmail.com)

۲) استاد؛ گروه سازه‌های آبی؛ دانشکده مهندسی علوم آب؛ دانشگاه شهید چمران؛ اهواز؛ ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۱/۲۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۶/۳۰

### چکیده

شیب صفحه دریچه کشوئی نقش بسزائی در ویژگی‌های هیدرولیکی آن دارد. تاکنون اثر شیب صفحه دریچه بر ویژگی‌های هیدرولیکی آن بصورت نظری بررسی نگردیده است. با انجام این بررسی می‌توان برای تغییر مشخصه‌های دبی با تغییر زاویه شیب صفحه دریچه کشوئی روابط نظری استخراج نمود. این روابط را می‌توان برای دریچه‌های قطاعی و آویخته تعمیم داده و به جای روابط طولانی و پیچیده تجربی و آنالیز ابعادی، از روابط ساده نظری استفاده نمود. در همین راستا، برای ایجاد ارتباط بین انرژی‌های مخصوص جریان در بالادست و پائین‌دست دریچه‌های کشوئی قائم و مایل در کانال‌های مستطیلی تحت شرایط جریان روزنه‌ای آزاد از رابطه اولر استفاده گردید. در رابطه اولر، زاویه مؤلفه نیروی ثقل در امتداد خط جریان برابر زاویه شیب صفحه دریچه در نظر گرفته شد. نسبت انرژی مخصوص جریان در دریچه کشوئی مایل به انرژی مخصوص در دریچه کشوئی قائم به‌صورت تابعی از زاویه شیب صفحه دریچه به‌دست آمد. این رابطه برای شیب‌های منفی صفحه دریچه صادق می‌باشد. اعتبار رابطه نظری نسبت عمق‌های آب در مقطع فشرده جریان در پائین‌دست دریچه‌ها، با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که بین رابطه نظری پیشنهادی و داده‌های آزمایشگاهی همخوانی بسیار بالایی وجود دارد. همچنین، روابطی برای تغییرات ضریب فشردگی و ضریب تخلیه دریچه کشوئی با تغییر زاویه شیب آن ارائه گردید. رابطه نظری پیشنهادی برای ضریب فشردگی، به دریچه‌های قطاعی و همچنین دریچه‌های آویخته تعمیم داده شد.

**کلید واژه‌ها:** دریچه آویخته؛ دریچه قطاعی؛ شیب دریچه کشوئی؛ ضریب فشردگی

### مقدمه

کانال‌های زهکشی به رودخانه‌ها استفاده می‌شود. نیروی لازم برای بالا بردن دریچه‌های قطاعی نسبت به دریچه‌های کشوئی کمتر می‌باشد. دریچه‌های آویخته نیز به‌طور خودکار با افزایش یا کاهش نیروی فشار آب باز و بسته می‌شوند.

با نصب مایل دریچه کشوئی در کانال مستطیلی می‌توان ظرفیت انتقال کانال را بهبود بخشید. در عمق آب بالادست و بازشدگی مشخص دریچه، با افزایش زاویه تمایل صفحه دریچه افزایش نسبی دبی عبوری از دریچه

مدیریت منابع آب نقش بسزائی در مصرف بهینه و حفاظت از منابع آب دارد. در این راستا اندازه‌گیری دبی جریان نقش اصلی را ایفا می‌نماید. برای توزیع متناسب با نیاز متقاضیان و به حداقل رساندن تلفات آب به علت مصرف بی‌رویه، اندازه‌گیری دقیق دبی جریان ضروری است (امیدواری‌نیا و موسوی جهرمی، ۱۳۹۱). در شبکه‌های آبیاری برای کنترل و اندازه‌گیری جریان از دریچه‌های کشوئی و قطاعی به‌طور گسترده استفاده می‌گردد. از دریچه‌های آویخته نیز در محل تخلیه

مطالعه قرار داد. ایشان با فرض فشار هیدرواستاتیک و توزیع سرعت یکنواخت در مقطع بالادست دریچه و مقطع فشرده شده جریان در پائین دست دریچه، معادله‌ای را برای رابطه بین ضریب تخلیه دریچه و بار آبی بالادست آن ارائه نمودند. ایشان همچنین دیاگرام با ارزشی برای ضریب تخلیه ارائه نمودند.

Rajaratnam و Subramania (۱۹۶۷b) جریان آزاد و مستغرق پائین دست یک دریچه کشویی قائم را مطالعه نمودند. روش نظری آنان منجر به رابطه‌ای مشترک برای جریان‌های آزاد و مستغرق گردید که مقدار ضریب اصلاحی توزیع سرعت در آن واحد فرض می‌گردد. Swamee (۱۹۹۲) معادلاتی برای جریان‌های آزاد و مستغرق، همین‌طور ملاکی برای تشخیص شرایط جریان آزاد براساس منحنی‌های آزمایشگاهی هنری ارائه نمودند.

در هر دو شرایط جریان روزنه‌ای آزاد و مستغرق، دبی عبوری از دریچه مستطیلی را می‌توان به عمق آب بالادست آن ارتباط داد. Alminagorta و Merkley (۲۰۰۹) و Ramamurthy و همکاران (۱۹۷۸) یک تحقیق آزمایشگاهی بر روی جریان عبوری از دریچه‌ای با لبه استوانه‌ای در شرایط جریان مستغرق انجام دادند و ضریب دبی بالایی را برای چنین دریچه‌هایی گزارش نمودند. Belaud و همکاران (2009) بر اساس اصل بقاء مومنتم با تعیین تحلیلی نیروی فشار وارده به سطح بالادست دریچه به همراه معادله انرژی، ضریب فشردگی دریچه‌های کشویی در بسترهای مسطح را در هر دو شرایط جریان آزاد و مستغرق مورد مطالعه قرار دادند. آنان دریافتند که ضریب فشردگی با بازشدگی نسبی دریچه و استغراق نسبی آن، بویژه در بازشدگی‌های زیاد دریچه تغییر می‌نماید. نامبرده‌گان همچنین دریافتند که ضریب فشردگی در بازشدگی‌های کمتر دریچه در شرایط جریان آزاد و مستغرق یکسان می‌باشد، لیکن در بازشدگی‌های زیاد دریچه چنین نیست.

را خواهیم داشت. این مزیت دریچه‌های کشویی مایل را می‌توان برای طراحی اقتصادی کانال‌های انتقال آب بکار برد. برای اینکه دریچه‌های کشویی مایل پس‌زدگی آب کمتری را ایجاد می‌نمایند (Shivapur and Shesha, Prakash, 2005).

علی‌رغم مزایایی که دریچه‌های کشویی مایل نسبت به دریچه‌های کشویی قائم دارند، در شبکه‌های آبیاری از این دریچه‌ها استفاده نمی‌شود. بنابراین دریچه‌های کشویی مایل دریچه‌های متداولی نیستند. شاید برخی ملاحظات طراحی و بهره‌برداری (از جمله کاهش نیروی لازم برای باز و بسته نمودن دریچه)، امکان استفاده از دریچه‌های کشویی مایل (به دلیل وجود نیروی بالابرنده) در کانال‌های آبیاری را محدود می‌نماید.

در بیان دلایل انجام این بررسی در دریچه‌های کشویی مایل و تعمیم آن به دریچه‌های قطاعی و آویخته می‌توان چنین گفت که زاویه لبه دریچه‌های قطاعی و زاویه صفحه دریچه آویخته با تغییر بازشدگی دریچه تغییر می‌نمایند. بنابراین امکان بررسی آزمایشگاهی تغییر مشخصه‌های هیدرولیکی این دریچه‌ها نسبت به دریچه‌های کشویی قائم در دبی‌ها و بازشدگی‌های یکسان دریچه‌ها با تغییر زاویه لبه و یا زاویه صفحه دریچه وجود ندارد. لیکن این امکان در دریچه‌های کشویی مایل فراهم می‌باشد.

در این تحقیق، برای کم کردن تعداد متغیرها و ساده‌تر نمودن شرایط برای به دست آوردن روابط نظری، سایر پارامترها غیر از شیب صفحه دریچه می‌بایست ثابت نگه‌داشته می‌شدند. به همین دلیل در ابتدا تغییر مشخصه‌های هیدرولیکی دریچه‌های کشویی مایل نسبت به دریچه‌های کشویی قائم بررسی می‌گردد و سپس روابط نظری به دست آمده برای دریچه‌های کشویی مایل به دریچه‌های قطاعی و آویخته تعمیم داده می‌شوند.

تحقیقات زیادی در مورد دریچه‌های کشویی هم عرض با کانال وجود دارد. Henry (1950) پخش جت آب مستغرق در پائین دست یک دریچه کشویی را مورد

مطالعات تحلیلی فراوانی انجام داد و توانست روابط تجربی پیچیده‌ای را برای تخمین ضریب دبی بدست آورد که برای یافتن ضرایب روابط تجربی به نمودارها و گراف‌هایی نیاز داشت. داده‌های آزمایشگاهی این محقق اغلب مبنای مطالعه‌های بعدی قرار گرفت. Whal و همکاران (2003) برای تعیین پارامترهای تجربی انرژی تصحیح شده موجود در روش واسنجی دریاچه‌های قطاعی (انرژی-مومنتم) به انجام یک سری مطالعات آزمایشگاهی بر روی دریاچه‌های قطاعی پرداختند. نتایج این تحقیق بیانگر آن بود که به دلیل توزیع غیر یکنواخت سرعت و همچنین توزیع غیر استاتیک فشار در پائین دست دریاچه، مقادیر انرژی تصحیح شده‌ای که توسط عمق ایجاد شده بلافاصله بعد از دریاچه و عمق جریان در پائین دست دریاچه محاسبه می‌گردد، مناسب نبوده است.

Shahrokhnia و Javan (2006) تحقیق‌های متعددی بر روی دریاچه‌های قطاعی انجام دادند. آن‌ها روابط بی بعدی را برای دبی عبوری از دریاچه‌های قطاعی در حالت مستغرق و آزاد ارائه کرده‌اند. همچنین با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی منتشر شده توسط محققان قبلی و برازش چند متغیره غیر خطی آنها، روابطی را برای ضریب دبی در دریاچه‌های قطاعی بدست آوردند. در این روابط ضریب دبی به صورت تابعی از نسبت بار آبی به ارتفاع بازشدگی دریاچه و زاویه لبه دریاچه با خط افق در نظر گرفته شده است. فتحی مقدم (۲۰۰۶) به منظور ارائه رابطه‌ای برای محاسبه ضریب دبی دریاچه‌های قطاعی در شرایط جریان مستغرق، به تعیین و بررسی میزان تاثیر هر یک از پارامترهای مؤثر بی بعد بر ضریب دبی پرداخت. در این رابطه ضریب دبی به صورت تابعی از نسبت بار آبی بالادست به ارتفاع بازشدگی دریاچه، نسبت بار آبی بالادست به پائین دست و نیز عدد فرود در مقطع پائین دست دریاچه در نظر گرفته شد.

Clements و همکاران (2012) با استفاده از نرم افزار Wingate بر اساس آنالیزهایی که نشان دهنده توزیع فشار

سیمافر (۱۳۳۸)، جدولی از نتایج تحقیقات آزمایشگاهی در زمینه تغییرات ضریب تخلیه دریاچه کشویی با تغییر زاویه شیب صفحه دریاچه و نسبت بازشدگی آن ارائه نمود. داده‌های این جدول نشان می‌دهد که ضریب تخلیه با افزایش زاویه تمایل یا کاهش زاویه شیب صفحه دریاچه افزایش می‌یابد.

Shivapur و Shesha Prakash (۲۰۰۵) با استفاده از آنالیز رگرسیونی داده‌های آزمایشگاهی روابط مستقلی را برای ضریب تخلیه دریاچه‌های کشویی مایل در شرایط جریان آزاد و مستغرق بدست آوردند. آنها آزمایش‌های خود را در زوایای تمایل صفر، ۱۵، ۳۰، و ۴۵ درجه به سمت بالادست دریاچه انجام داده بودند.

میزان بازشدگی دریاچه قطاعی و به تبع آن زاویه لبه، با بالا و پائین بردن دریاچه تغییر می‌نماید. Toch (1955) رابطه تجربی زیر را در شرایط جریان آزاد برای تغییرات ضریب فشردگی با تغییر زاویه لبه دریاچه قطاعی پیشنهاد نمود:

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

که در آن  $\theta$  زاویه لبه دریاچه بر حسب درجه می‌باشد. همچنین ایشان در طول تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که ضریب فشردگی دریاچه قطاعی فقط تابع زاویه لبه دریاچه نبوده و به نسبت عمق آب بالادست به بازشدگی دریاچه نیز بستگی دارد.

رابطه دیگری که در شرایط جریان آزاد برای تغییرات ضریب فشردگی دریاچه‌های قطاعی لبه تیز با تغییر زاویه لبه آن پیشنهاد گردیده است، رابطه زیر می‌باشد (Tel, 2000).

$$C_c = 1.001 - 0.2349\theta_p - 0.1843\theta_p^2 + 0.1133\theta_p^3 \quad (2)$$

در این رابطه  $\theta$  زاویه لبه دریاچه بر حسب رادیان می‌باشد.

Buyalski (1983) به منظور بدست آوردن ضریب دبی جریان در دریاچه‌های قطاعی تحقیقات آزمایشگاهی و

و یا

$$d\left(\frac{p}{\rho g} + \frac{V^2}{2g}\right) = -\sin \theta ds \quad (4)$$

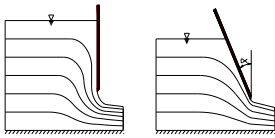
در روابط بالا  $p$  = فشار هیدرواستاتیک،  $V$  = سرعت ذره سیال در یک نقطه بر روی خط جریان،  $\theta$  = زاویه خط جریان با امتداد افق،  $g$  = شتاب ثقل و  $s$  = طول خط جریان می‌باشد.

با توجه به اینکه طرف اول رابطه بالا، تغییر انرژی مخصوص بین دو نقطه در امتداد یک خط جریان می‌باشد، بنابراین می‌توان نوشت:

$$dE_s = -\sin \theta ds \quad (5)$$

که در آن  $E_s$  = انرژی مخصوص می‌باشد.

خطوط جریان قابل پیش‌بینی برای دریچه‌های کشویی قائم و مایل به صورت خطوط جریان ترسیم شده در شکل (۱) می‌باشند. در این شکل  $\alpha$  = زاویه تمایل صفحه دریچه می‌باشد. زاویه شیب صفحه دریچه که برابر  $90 - \alpha$  می‌باشد،  $\theta$  در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۱. خطوط جریان قابل پیش‌بینی برای دریچه‌های

کشویی مایل و قائم

بر اساس شکل ۱، با فرض زاویه‌ای برابر با زاویه شیب صفحه دریچه برای خط جریان مجاور دریچه کشویی مایل و زاویه  $90^\circ$  برای خط جریان مجاور دریچه کشویی قائم، رابطه (۵) بین دو نقطه در امتداد خط جریان مجاور دریچه‌ها بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$dE_{s_f} = -\sin \theta ds \quad (6)$$

$$dE_{s_v} = -ds \quad (7)$$

در روابط بالا و همچنین در روابط بعدی، اندیس  $i$  نشان دهنده مشخصه‌های دریچه کشویی مایل و اندیس  $v$  نشان دهنده مشخصه‌های دریچه کشویی قائم می‌باشد.

غیراستاتیک بر روی دریچه‌های قطاعی بودند، روابط جدیدی را برای ضریب فشردگی دریچه‌های قطاعی استخراج نمودند. این آنالیزها نشان دادند که ضریب فشردگی به بازشدگی نسبی دریچه نیز بستگی دارد. ضریب فشردگی در آستانه استغراق دریچه قطاعی با تغییر میزان استغراق تغییر می‌نماید. بعد از استغراق کامل لبه دریچه، ضریب فشردگی با افزایش میزان استغراق بدون تغییر باقی می‌ماند، لیکن از بازشدگی نسبی تاثیر می‌پذیرد. تخمین دقیق ضریب دبی برای محاسبه دبی عبوری از زیر دریچه در حالت‌های جریان آزاد و مستغرق ضروری است. ضریب دبی به مقدار قابل توجهی از ضریب فشردگی تاثیر می‌پذیرد. روابطی که تا به امروز برای ضریب فشردگی و یا ضریب دبی دریچه‌های قطاعی و دریچه‌های آویخته ارائه گردیده‌اند روابط تجربی و یا روابط بدست آمده از آنالیز رگرسیون و آنالیز ابعادی می‌باشند. این روابط در محدوده تغییرات متغیرها در شرایط تحقیق انجام گرفته معتبر بوده و همچنین برای استفاده در شرایط میدانی نیاز به واسنجی دارند. این محدودیت‌ها برای روابط نظری کمتر می‌باشند. تاکنون هیچگونه تحقیق و یا تلاشی برای برقراری ارتباط نظری بین زاویه شیب صفحه دریچه کشویی و مشخصه‌های هیدرولیکی آن انجام نگرفته است. در این مقاله، اثر شیب صفحه دریچه کشویی در مشخصه‌های هیدرولیکی آن با استفاده از روابط نظری تعریف گردیده و سپس امکان استفاده از این روابط نظری در دریچه‌های قطاعی و دریچه‌های آویخته بررسی می‌شود.

#### مواد و روش‌ها

#### تئوری تحقیق:

در حالت جریان دائمی، رابطه اولر در امتداد یک خط جریان به صورت زیر نوشته می‌شود (Fox & Macdonald, 1994):

$$\frac{dp}{\rho} + V dV + g \sin \theta ds = 0 \quad (3)$$

$$\frac{0 + \frac{q^2}{2gy_{i_2}^2}}{0 + \frac{q^2}{2gy_{v_2}^2}} = \sin \theta \quad (12)$$

بنابر این رابطه بین عمق‌های جریان در مقطع فشرده شده پائین دست دریاچه‌ها بصورت زیر در می‌آید:

$$\frac{y_{v_2}}{y_{i_2}} = \sqrt{\sin \theta} \quad (13)$$

با توجه به اینکه بازشدگی دریاچه‌ها یکسان در نظر گرفته شده بودند، می‌توان نوشت:

$$\frac{C_{c_v}}{C_{c_i}} = \sqrt{\sin \theta} \quad (14)$$

در این رابطه  $C_c$  = ضریب فشرده‌گی دریاچه می‌باشد.

Henderson (1966) مقدار  $0.61$  را برای ضریب فشرده‌گی دریاچه‌های کشوئی قائم در شرایط جریان آزاد پیشنهاد نمود. در شرایط جریان مستغرق نیز ضریب فشرده‌گی دریاچه کشوئی قائم  $0.61$  می‌باشد (Rajaratnam & Subramanya, 1967 a).

Sepulveda و همکاران (2009) روش‌های مختلف واسنجی ضریب دبی دریاچه‌های کشوئی را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که با بکار بردن مقدار  $0.61$  برای ضریب فشرده‌گی در روابط نظری، نتایج خوبی در عمل حاصل می‌گردد.

بنابراین می‌توان نوشت:

$$C_{c_i} = \frac{0.61}{\sqrt{\sin \theta}} \quad (15)$$

رابطه بالا یک رابطه نظری ساده و کاربردی برای محاسبه ضریب فشرده‌گی دریاچه‌های کشوئی در شرایط جریان آزاد با تغییر زاویه شیب صفحه دریاچه می‌باشد. با صرف نظر کردن از افت انرژی بین بالادست و پائین دست دریاچه، ضریب دبی دریاچه کشوئی قائم را در شرایط جریان آزاد می‌توان از رابطه زیر محاسبه نمود:

لازم به ذکر است که فرضیات ذکر شده تا زمانی صادق هستند که عمق آب در بالادست دریاچه‌ها زیاد بوده (سرعت جریان نزدیک شونده ناچیز) و بازشدگی دریاچه‌ها یکسان باشد.

با تقسیم دو رابطه بالا بر یکدیگر خواهیم داشت:

$$\frac{dE_{s_i}}{dE_{s_v}} = \sin \theta \quad (8)$$

با بکار بردن رابطه اخیر برای خط جریان سطحی بین سطح آب بالادست و مقطع فشرده شده (Vena contracta) در پائین دست دریاچه‌ها (با در نظر گرفتن دبی‌های عبوری یکسان از زیر دریاچه‌های کشوئی قائم و مایل در بازشدگی‌های یکسان دریاچه‌ها و شرایط جریان مشخص، و با فرض ناچیز بودن سرعت‌های جریان در سطح آب بالادست دریاچه‌ها) می‌توان نوشت:

$$\frac{0 - E_{s_{i2}}}{0 - E_{s_{v2}}} = \sin \theta \quad (9)$$

و یا

$$\frac{E_{s_{i2}}}{E_{s_{v2}}} = \sin \theta \quad (10)$$

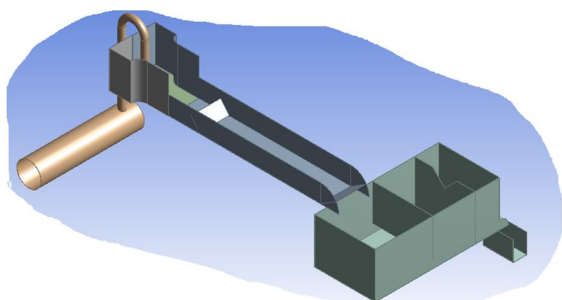
در روابط بالا و همچنین در روابط آتی اندیس ۲ نشان دهنده مشخصه‌های هیدرولیکی در مقطع فشرده شده جریان در پائین دست دریاچه و اندیس ۱ نشان دهنده مشخصه‌های هیدرولیکی در بالادست دریاچه می‌باشد.

از روابط ۸ و ۱۰ نتیجه می‌شود که نسبت انرژی‌های مخصوص در بالادست دریاچه‌ها نیز برابر است با:

$$\frac{E_{s_{i1}}}{E_{s_{v1}}} = \sin \theta \quad (11)$$

با در نظر گرفتن سرعت متوسط مقطع برای ذره مایع در حال حرکت در امتداد خط جریان سطحی در مقطع فشرده شده جریان در پائین دست دریاچه‌ها، رابطه (۱۰) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

پیچ‌هایی به دیواره فلوم برقرار می‌گردید. ارتفاع چهار چوب دریچه کمتر از ارتفاع صفحه دریچه بوده و چهار چوب دریچه طوری به دیواره فلوم متصل می‌گردید که با تغییر بازشدگی دریچه مانعی در مقابل جریان عبوری از رو و زیر دریچه ایجاد ننماید. برای ایجاد بازشدگی‌های یکسان و دقیق دریچه در عرض فلوم، قطعات کوچکی از ورقهای پلکسی گلاس ۱۰ میلیمتری در کف کانال بر روی همدیگر در زیر صفحه دریچه قرار داده می‌شد. پس از ثابت نمودن صفحه دریچه بوسیله چسب سیلیکون در چهارچوب آن، قطعات کوچک از زیر صفحه دریچه بیرون کشیده می‌شد. زوایای تمایل صفحه دریچه بوسیله شیب‌سنج و عمق آب بوسیله عمق‌سنج اندازه‌گیری می‌گردید.



شکل ۲. شماتیک فلوم، ورودی، خروجی و محل نصب دریچه کشوئی

#### نتایج و بحث

روابط ۱۰ و ۱۱ نشان می‌دهند که انرژی مخصوص در دبی و بازشدگی مشخص دریچه با افزایش زاویه تمایل یا کاهش زاویه شیب صفحه دریچه کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه جریان در بالادست دریچه و در مقطع فشرده شده در پائین‌دست آن به ترتیب زیر بحرانی و فوق بحرانی است، با کاهش انرژی مخصوص، کاهش و افزایش نسبی عمق آب را به ترتیب در بالادست و پائین دست دریچه خواهیم داشت. نتایج اندازه‌گیری‌های عمق آب بالادست دریچه‌های کشوئی قائم و مایل در دبی‌ها و بازشدگی‌های یکسان دریچه‌ها در شکل ۳ ارائه می‌گردد.

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1 + \frac{C_c w}{y_1}}} \quad (16)$$

در رابطه بالا  $C_d =$  ضریب تخلیه دریچه کشوئی،  $w =$  بازشدگی دریچه و  $y_1 =$  عمق آب در بالادست دریچه می‌باشد.

با قرار دادن مقدار ضریب فشرده‌گی از رابطه (۱۵) در رابطه (۱۶)، رابطه تغییر ضریب دبی دریچه‌های کشوئی با تغییر زاویه شیب صفحه دریچه به صورت زیر حاصل می‌گردد:

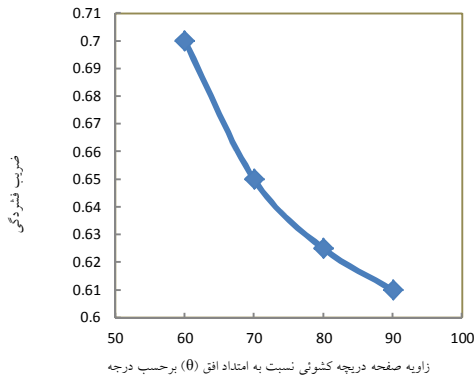
$$C_d = \frac{0.61}{\sqrt{\sin \theta \left(1 + \frac{0.61w}{y_1 \sqrt{\sin \theta}}\right)}} \quad (17)$$

این رابطه نشان می‌دهد که ضریب تخلیه دریچه با کاهش شیب صفحه دریچه افزایش می‌یابد

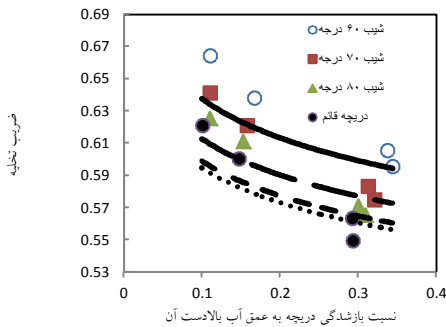
#### روش تحقیق:

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک کاربردی گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه انجام گرفت. فلوم آزمایشگاهی (شکل ۱)، یک متر عرض، ۶۰ سانتی‌متر ارتفاع و ۶ متر طول دارد. دیواره‌های فلوم شیشه‌ای بوده و کف آن فلزی می‌باشد. دریچه کشوئی در ابتدای فلوم و دو متر پائین‌تر از مخزن ورودی فلوم جاگذاری گردید. دبی جریان بوسیله شیر نصب شده بر روی لوله تغذیه کننده فلوم کنترل می‌گردید. اندازه‌گیری دبی جریان بوسیله سرریز مثلثی نصب شده در مخزن انتهایی فلوم انجام می‌گرفت. عمق پایاب بوسیله سرریز مایل نصب شده در انتهای فلوم ایجاد می‌گردید. دریچه کشوئی از ورق پلکسی گلاس ۲۰ میلیمتری ساخته شده و لبه‌های آن تحت زاویه  $45^\circ$  تیز گردیده بود. بازشدگی‌های دریچه، ۲، ۳ و ۴ سانتیمتر در زوایای تمایل صفر درجه،  $10^\circ$ ،  $20^\circ$  و  $30^\circ$  صفحه دریچه نسبت به امتداد قائم بودند. زوایای تمایل صفحه دریچه با چرخاندن چهار چوب دریچه نسبت به امتداد قائم و ثابت نمودن آن بوسیله

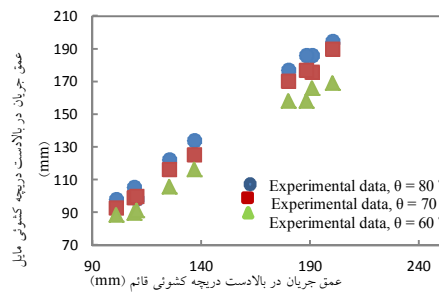
می‌یابد، بنا بر این با افزایش زاویه تمایل یا کاهش زاویه شیب صفحه دریاچه، یک افزایش نسبی در ضریب فشردگی دریاچه در دبی‌ها و بازشدگی‌های مشخص دریاچه وجود خواهد داشت. نتایج تغییرات ضریب فشردگی دریاچه با تغییر زاویه شیب آن در شکل (۵) ارائه می‌گردد.



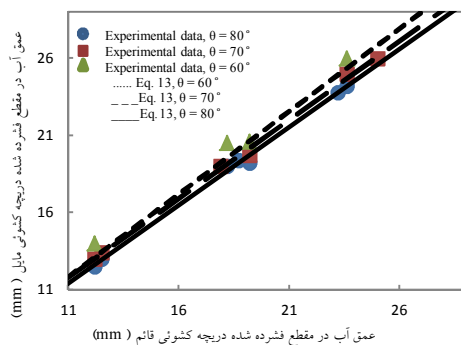
شکل ۵. تاثیر شیب صفحه دریاچه کشویی بر ضریب فشردگی از رابطه (۱۷) مشخص است که زاویه شیب صفحه دریاچه نقش مهمی را در ضریب تخلیه دارد، و با افزایش زاویه شیب صفحه دریاچه بازای ارتفاع آب بالادست و بازشدگی مشخص دریاچه، یک افزایش نسبی در ضریب تخلیه دریاچه وجود دارد. نتایج تغییرات ضریب فشردگی دریاچه کشویی با تغییر زاویه شیب صفحه دریاچه در شرایط جریان آزاد بر اساس داده‌های آزمایشگاهی و رابطه نظری برای مقایسه در شکل (۶) ارائه می‌گردد. منحنی‌های این شکل با بکار بردن رابطه نظری در زوایای مختلف (۶۰، ۷۰، ۸۰ و ۹۰ درجه) شیب صفحه دریاچه ترسیم گردیده‌اند.



شکل ۶. تاثیر شیب صفحه دریاچه کشویی در ضریب تخلیه آن

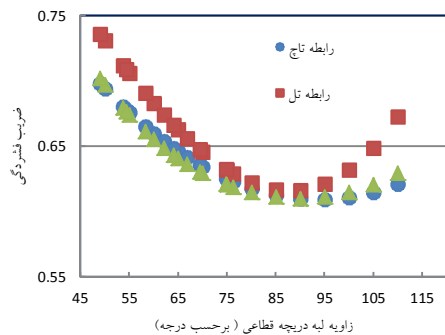


شکل ۳. تاثیر شیب صفحه دریاچه کشویی بر عمق آب بالادست در این شکل نیز کاهش عمق آب بالادست دریاچه با کاهش شیب صفحه دریاچه مشهود بوده و کاهش انرژی مخصوص با کاهش شیب صفحه دریاچه را تایید می‌نماید. در شکل (۴) نتایج اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی عمق آب در مقطع فشرده شده جریان در پائین دست دریاچه‌های کشویی مایل و قائم در دبی‌ها و بازشدگی‌های مشخص دریاچه آورده شده است. در این شکل با رسم خطوط مربوط به رابطه نظری ارائه شده برای نسبت عمق‌های آب در مقطع فشرده شده جریان در پائین دست دریاچه‌ها (در زوایای ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه صفحه دریاچه نسبت به امتداد افق)، همخوانی بین داده‌های آزمایشگاهی و رابطه تئوری مورد بررسی قرار گرفت. مطابقت معادلات خطوط رگرسیون داده‌های آزمایشگاهی در زوایای مختلف شیب صفحه دریاچه (با حداقل  $R^2 = 0.992$ ) با معادله نظری (معادله ۱۳)، نشانگر همخوانی بسیار بالای داده‌های آزمایشگاهی با رابطه نظری می‌باشد.



شکل ۴. تاثیر شیب صفحه دریاچه کشویی بر عمق آب در مقطع فشرده شده پائین دست آن

با افزایش نسبی عمق آب در مقطع فشرده شده جریان در پائین دست دریاچه، ضریب فشردگی دریاچه افزایش



شکل ۷. مقایسه نتایج رابطه نظری پیشنهادی با نتایج روابط محققین پیشین با بکار بردن داده‌های آزمایشگاهی بویالسکی

رابطه محاسبه ضریب فشردگی در دریچه‌های آویخته نیز به صورت زیر در می‌آید:

$$C_c = \frac{0.61}{\sqrt{1 - \frac{w}{L}}} \quad (18)$$

در رابطه بالا  $w$  = بازشدگی دریچه و  $L$  = طول صفحه دریچه می‌باشد. این رابطه نشان می‌دهد که عامل اصلی تغییر ضریب فشردگی دریچه‌های آویخته، نسبت بازشدگی دریچه به طول صفحه دریچه می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری

شیب صفحه دریچه کشوئی در مشخصات جریان در بالادست و پائین دست دریچه تاثیر می‌گذارد. تغییر مشخصات جریان در بالادست و پائین دست دریچه موجب تغییر ضریب فشردگی و ضریب تخلیه دریچه با تغییر شیب صفحه دریچه می‌گردد. رابطه نظری پیشنهادی برای ضریب فشردگی دریچه کشوئی مایل را می‌توان به دریچه‌های قطاعی و آویخته تعمیم داد. این روابط می‌توانند جایگزین روابط پیچیده و طولانی تجربی محاسبه ضریب فشردگی دریچه‌های قطاعی و آویخته گردند.

در بازشدگی نسبی تقریباً "۰/۳"، رابطه نظری با داده‌های آزمایشگاهی مطابقت بسیار بالایی دارد.

#### کاربرد رابطه نظری ضریب فشردگی در دریچه‌های قطاعی و دریچه‌های آویخته:

برای محاسبه ضریب فشردگی دریچه‌های قطاعی در شرایط جریان آزاد از رابطه (۱۵) استفاده گردید. در رابطه مذکور، زاویه لبه دریچه قطاعی جایگزین زاویه شیب صفحه دریچه کشوئی گردید. نتایج بدست آمده از رابطه نظری پیشنهادی با بکار بردن داده‌های آزمایشگاهی Buyalski (1983) با نتایج حاصل از روابط Tel (2000) و Toch (1955) با بکار بردن همان داده‌های آزمایشگاهی شکل ۷ مقایسه گردید. همانطور که از شکل پیداست، همخوانی بسیار بالایی بین نتایج بدست آمده از رابطه نظری و رابطه Toch (1955) وجود دارد. این همخوانی بیانگر مطابقت قابل قبول نتایج رابطه نظری با داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. بنابراین رابطه نظری را می‌توان با دقت مناسبی برای محاسبه ضریب فشردگی دریچه‌های قطاعی بکار برد. لازم به ذکر است روابطی که تا به امروز برای محاسبه ضریب فشردگی و ضریب تخلیه دریچه‌های قطاعی پیشنهاد گردیده‌اند، روابط طولانی تجربی و یا روابط پیچیده بدست آمده از آنالیز رگرسیونی و آنالیز ابعادی می‌باشند. این روابط فقط در محدوده تغییرات متغیرها در آزمایش‌های انجام یافته معتبر بوده و در خارج از آن محدوده از دقت لازم برخوردار نخواهند بود.

#### فهرست منابع

- امیدواری‌نیا، م. و موسوی جهرمی، س. ح. ۱۳۹۱. تأثیر طول آستانه و زاویه پرتاب کننده‌های مثلثی بر مسیر کلی پرتابه خروجی. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۱ (۴): ۱-۱۸.
- سیمافر، ش. ۱۳۶۸. تاسیسات و شبکه‌های انتقال آب. انتشارات نیما، تبریز، ۴۸۱ ص.



- Alminagorta, O. and Merkley, G. P. 2009. Transitional flow between orifice and nonorifice regimes at a rectangular sluice gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(3): 382–387.
- Belaud, G., Cassan, L., and Baume, J. 2009. Calculation of Contraction Coefficient under Sluice Gates and Application to Discharge Measurement. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(12): 1086–1091.
- Buyalski, C.P. 1983. Discharge algorithms for canal gates. REC-ERC-83-9. Engineering and Research center. U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- Clemments et al. 2012. Contraction coefficient for radial and sluice gates in wingate software. USCID water management conference.
- Fathimoghaddam, M. 2006. Discharge coefficient of radial gates in submerged flow. 7th International Congress of Civil Engineering, 87-93
- Fox, R. W. and Macdonald, A. T. 1994. Introduction to fluid mechanics. John Wiley & Sons, New York, 781pp.
- Henderson, F. M. 1966. Open channel flow, Macmillan, New York, 522 pp.
- Henry, H. R. 1950. Discussion of ‘Diffusion of submerged jets’ by M. L. Albertson, Y. B. Dai, R. A. Jensen, and H. Rouse. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 115: 687–694.
- Rajaratnam, N., and Subramanya, K. 1967a. Flow immediately below a submerged sluice gate. *Journal of Hydraulic Division*, 93(HY4): 57–77.
- Rajaratnam, N., and Subramanya, K. 1967b. Flow equation for the sluice gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 93(3): 167–186.
- Ramamurthy, A. S. Subramanya, K. and Pani, B. S. 1978. Sluice Gates with High Discharge Coefficients. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 104(IR4): 437-441.
- Sepulveda, C., Gomez, M., and Rodellar, J. 2009. Benchmark of discharge calibration methods for submerged sluice gates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(5): 676–682.
- Shahrokhnia, M. A. and Javan, M. 2006. Dimensionless stage–discharge relationship in radial gates. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132(2): 180–184.
- Shivapur, A. V., and Shesha Prakash, M. N. 2005. Inclined sluice gate for flow measurement. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 11(1): 46-56
- Swamee, P. K. 1992. Sluice gate discharge equations. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 118(1): 56–60.
- Tel, J. 2000. Discharge relations for radial gates. MSc. thesis, Delft Technical University, Delft, The Netherlands.
- Toch, A. 1955. Discharge characteristics of Tainter gates. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 120: 290–300.
- Wahl, et al. 2003. The energy correction for calibration of submerged radial gates. United States Committee of Irrigation and Drainage Engineering Conference, 757-766



## Influence of gate plate slope on hydraulic characteristics of sluice gates

Rasoul Ilkhanipour Zeynali<sup>1\*</sup>, Sayyed Habib Mousavi Jahromi<sup>2</sup>, Sayyed Mahmoud Kashefipour Dezfouli<sup>2</sup>  
and Manouchehr Fathi Moghadam<sup>2</sup>

1\*) Ph.D Student, Department of Water Structures, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran, Corresponding author email: [ilkhanipour.bayram@gmail.com](mailto:ilkhanipour.bayram@gmail.com)

2) Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

Received: 11-04-2015

Accepted: 21-09-2015

### Abstract

Gate plate slope has an important role on hydraulic characteristics of sluice gates. In the previous studies, the influence of gate plate slope on hydraulic characteristics of sluice gates has not investigated theoretically. By applying the results of this theoretical study, the theoretical relations for discharge characteristics of sluice gates will be obtained depend on the gate plate slope. These theoretical and simple relations can be used to radial and top hinged flap gates, instead of long and complicated empirical and dimensional analyses-based equations. In this order, Euler's equation was used to relate the specific energy of inclined sluice gate with specific energy of vertical sluice gate in rectangular channels under free orifice-flow condition. The gate plate slope was considered in the streamwise component of the gravitational acceleration in Euler's equation. The ratio of inclined to vertical sluice gates specific energies obtained depends on the gate plate slope. The equation allows for the gate plate inclinations into the upstream pool. By applying the relation for specific energies ratio along the surface streamline, the water depths ratio at the vena contracta obtained depends on the gate plate slope with assuming negligible energy loss and approach velocities. Experimental data were used to validate the proposed equation for water depths ratio at the vena contracta, which showed good agreement with the measured values. Also, other equations presented for contraction and discharge coefficients variation with the gate plate slope. The proposed relation for contraction coefficient developed to radial and top hinged flap gates.

**Keywords:** contraction coefficient, radial gate, sluice gate slope, top hinged flap gate