

## بررسی کارآیی دریاچه پروانه‌ای، کنترل و اندازه‌گیری جریان در کانال‌های نیم‌دایره‌ای

آوا مرعشی<sup>۱</sup>، حجت الله یونسی<sup>۲</sup>، صلاح کوچک زاده<sup>۳</sup>، حسن ترابی پوده<sup>۴</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۵

مقاله پژوهشی

### چکیده

در این پژوهش به منظور کنترل و اندازه‌گیری جریان در کانال‌ها که معمولاً مقطع نیم‌بیضی و یا نیم‌دایره دارند سازه جدیدی به نام دریاچه پروانه‌ای معرفی شده است. به همین منظور عملکرد هیدرولیکی این دریاچه و تأثیر پارامترهای دبی جریان و زاویه بازشدگی دریاچه بر عمق جریان در یک کانال نیم‌دایره‌ای بررسی شده است. در این پژوهش با استفاده از یک سامانه جمع آوری و ثبت داده‌های فشار در نقاط مختلف کانال، عمق جریان تعیین شده و ضمن ارائه منحنی‌های دبی-اشل این نوع دریاچه برای زوایای بازشدگی مختلف، دو روش برای محاسبه دبی جریان عبوری از دریاچه پروانه‌ای ارائه شده است که عبارتند از روش تفکیکی هر زاویه و روش تجمیع داده‌ها که دقت این روش‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که هر دو روش با دقت بالای ۹۵ درصد قادر به برآورد دبی عبوری از کانال می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کانالت، دریاچه پروانه‌ای، رابطه دبی-اشل، زاویه باز شدگی

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری سازهای آبی گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ۰۹۱۶۰۵۳۱۸۳۸، awe\_marashi@yahoo.com

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ۰۹۱۶۶۶۱۳۴۰۸، yonesi.h@lu.ac.ir (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup> استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، کرج، ایران، ۰۹۱۲۱۶۱۰۲۴۷، skzadeh@ut.ac.ir

<sup>۴</sup> دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران، ۰۹۱۳۲۲۰۵۱۶۹، torabi1976@gmail.com



## مقدمه

سازه‌های اندازه‌گیری جریان و تنظیم سطح آب از پرکاربردترین و مهم‌ترین سازه‌ها در شبکه‌های آبیاری هستند. این سازه‌ها به دو صورت ثابت (مانند انواع سرریزها و فلوم‌ها) و یا قابل تنظیم (مانند دریچه‌های کشویی و قطاعی) به کار می‌روند. سازه‌های قابل تنظیم کاربرد وسیعی برای اندازه‌گیری دبی و تنظیم سطح آب دارند. لذا پیشینه تحقیقاتی جامع و گسترده‌ای داشته و این تحقیقات عموماً به اصلاح و بهبود رابطه دبی و هد بالادست و همچنین تدقیق برآورد ضریب دبی در شرایط مختلف جریان پرداخته‌اند. از جمله محققینی که به بررسی ضریب دبی دریچه‌های کشویی در جریان‌های آزاد و مستغرق پرداخته‌اند می‌توان به هنری (۱۹۵۰)، Rajaratnam et al. (1967)، Roth et al. (1999) و Swamee (1992) اشاره کرد. محاسبه ضریب فشردگی دریچه و بررسی تغییرات آن در بازشدگی‌های مختلف در تحقیقات Benjamin (1956)، Vanden-Broeck (1997)، Daneshfaraz et al. (2016) با حل عددی تابع پتانسیل مختلط و Kim (2007) با حل عددی معادلات ناویر استوکس انجام شده است. همچنین Belaud et al. (2009) به بررسی این ضریب در جریان آزاد و مستغرق با حل معادلات انرژی و مومنتم پرداخته‌اند. اما تحقیقات Ferro (2000) به ارائه رابطه توانی دبی براساس پارامترهای بی‌بعدی از عمق و ارتفاع بازشدگی منجر شد. تحقیقاتی نیز به منظور محاسبه دبی عبوری از دریچه‌های قطاعی در شرایط آزاد و مستغرق انجام شده است.

در تحقیق حاضر دریچه‌ای نیم‌دایره‌ای به عنوان یک سازه تنظیم و اندازه‌گیری جریان در مجاری روباز نیم‌دایره‌ای معرفی شده که سهولت بهره‌برداری، سرعت حرکت و نیاز به نیروی کمتر در هنگام مانور، از مزایای

آن قلمداد می‌شود. از آنجایی که این دریچه به شیر پروانه‌ای به کار رفته در مجاری تحت فشار شباهت دارد، به آن دریچه پروانه‌ای اطلاق شده و از نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در مورد شیر پروانه‌ای، برای بررسی آن استفاده شد. از اولین گزارش‌های مربوط به هیدرولیک شیرهای پروانه‌ای تحقیقات Sarpkaya (1959) و (1961) می‌باشد که به محاسبه ضریب فشردگی و ضریب دبی جریان و بررسی کاویتاسیون و گشتاور پرداخته است. (Ogawa et al. و Kimura et al. (1995) با استفاده از تئوری خطوط جریان آزاد<sup>۵</sup> و تئوری بال<sup>۶</sup> به بررسی ضریب گشتاور و افت و کاویتاسیون در شیرهای پروانه‌ای پرداختند. مطالعات Huang et al. (1996) شامل بررسی سه بعدی جریان در اطراف شیر پروانه‌ای با استفاده از مدل آشفتگی k-ε بود و Henderson et al. (2008) با استفاده از مدل آشفتگی SST به بررسی گشتاور و افت انرژی و Del Toro et al. (2015) به بررسی ضریب جریان، افت و گشتاور هیدرودینامیکی به کمک داده‌های آزمایشگاهی و شبیه‌سازی سه بعدی جریان پرداختند.

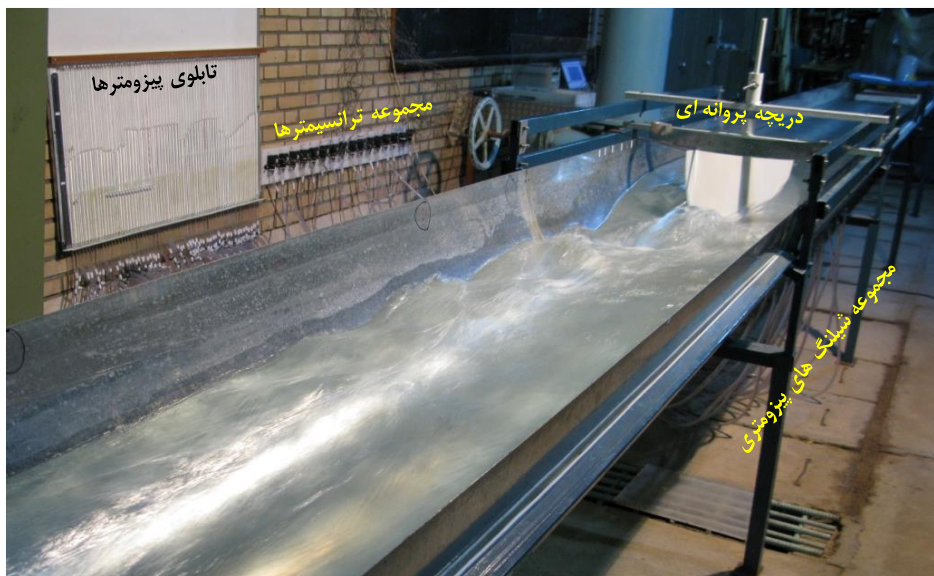
با توجه به گسترش بهره‌گیری از کانال و کانال‌های هوایی با مقاطع نیم‌دایره‌ای و نیم‌بیضی شکل در شبکه‌های آبیاری و زهکشی به دلیل مزایای متعدد آنها از قبیل نزدیکی به شرایط بهترین مقطع هیدرولیکی، سرعت اجرا، کاهش هزینه‌های احداث، استحصال کمتر اراضی و سهولت بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری، این تحقیق صورت گرفت تا با به‌کاربردن دریچه‌ای هم شکل کانال که در این تحقیق دریچه پروانه‌ای نام‌گذاری شده است و بررسی خصوصیات هیدرولیکی آن و تعیین مزایا مترتب بر آن، امکان توسعه و بهره‌گیری از چنین سازه‌ای را مطالعه و گزارش نماید. در این پژوهش به اثر زاویه بازشدگی دریچه پروانه‌ای در تنظیم سطح آب در دبی‌های مختلف در یک مجرای نیم‌دایره‌ای روباز پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

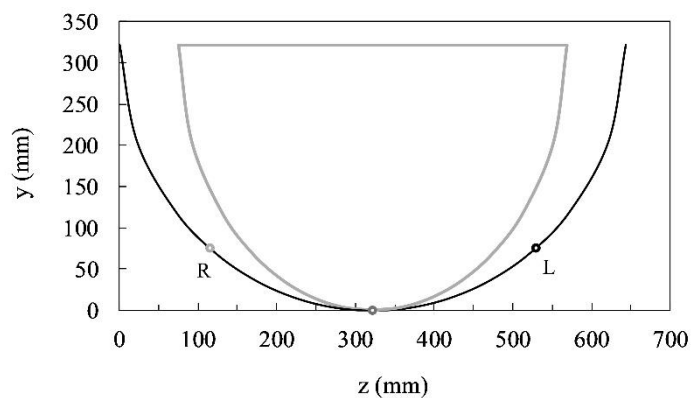
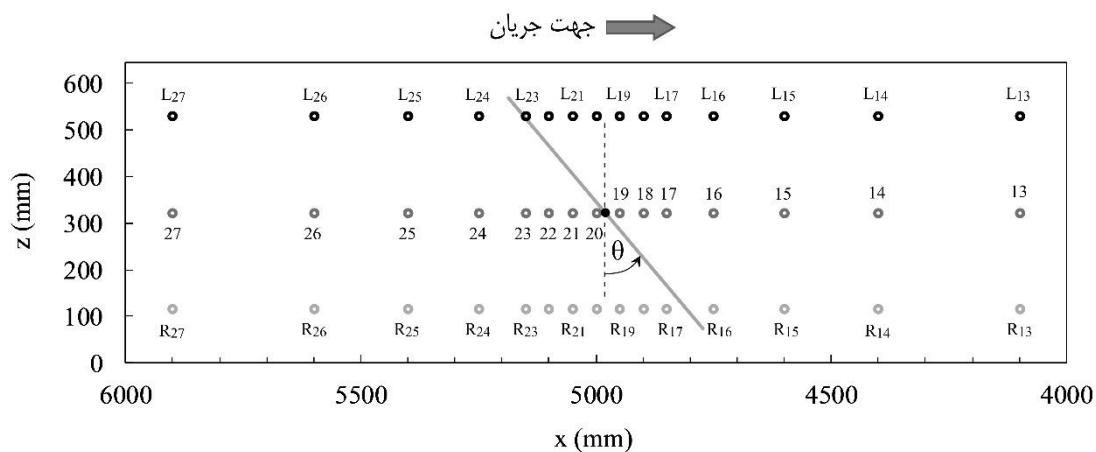
برای انجام این تحقیق، یک کانال نیم‌دایره‌ای به قطر ۰/۶۴۴ متر و طول ۱۲ متر در آزمایشگاه مرکزی تحقیقات آب گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران ساخته شد. این کانال از اتصال شش ماژول هرکدام به طول ۲ متر از ورق آهن گالوانیزه نورد شده و مستقر بر قابی فلزی ساخته شده است. هنگام ساخت ماژول‌ها، تعداد ۶۷ اتصال سرشیلنگی بر بدنه صفحات نورد شده تعبیه شد تا شیلنگ‌های پیژومتری را به کانال متصل کند. صفحه نیم‌دایره‌ای که به منظور دریچه پروانه‌ای مورد استفاده قرار گرفت از ورق آهن به ضخامت چهار میلیمتری، که با برش لیزری به شکل نیم‌دایره و با دستگاه فرز CNC<sup>۷</sup> به صورت لبه تیز در آمده بود، ساخته شد. استقرار این دریچه در کانال به کمک یک محور فولادی به قطر ۱۵ میلیمتر و به طول ۰/۵ متر که به وسیله قابی فولادی در جای خود نگاه داشته شده، صورت گرفت. به منظور چرخش دریچه، یک محور فولادی از میان دو بلبرینگ نصب شده در قاب مخصوص عبور داده شد (شکل ۱).

جریان توسط یک لوله فولادی به قطر ۱۵۲ میلیمتر از مخزن هوایی با هد ثابت به ابتدای فلوم منتقل و پس

از عبور از تجهیزات کاهش تلاطم در کانال برقرار می‌شود. به منظور اندازه‌گیری دبی جریان از یک دستگاه فلومتر الکترومغناطیسی که بر روی لوله یاد شده نصب است، استفاده شده است. برای اندازه‌گیری عمق آب در طول فلوم از ۱۶ عدد ترانس‌میتور فشار و یک تابلوی پیژومتری استفاده شد. ترانس‌میتورها در جا و با استفاده از عمق اندازه‌گیری شده در فلوم واسنجی شدند و معادلات واسنجی هرکدام تعیین و به کار گرفته شد. از آنجاکه عمق جریان در عرض کانال در محل نصب دریچه و نزدیکی آن ثابت نیست، جهت بررسی عرضی عمق جریان، در ماژولی که دریچه در آن قرار داشت تعداد سی پیژومتر در سه ردیف، به طوری که یک ردیف در خط مرکزی فلوم و دو ردیف قرینه نسبت به خط مرکزی و به ارتفاع ۷۵ میلیمتر از خط القعر فلوم قرار داشته باشد، ایجاد شد. در مجموع ۶۷ پیژومتر در بستر فلوم نصب شد که ۳۷ عدد آن در محور مرکزی کانال قرار داده شد. شکل ۱ تصویری از کل تجهیزات آزمایشگاهی و شکل ۲ محل نصب پیژومترها در پلان و مقطع عرضی ماژول محل نصب دریچه را نشان می‌دهد. در این شکل  $\theta$  زاویه بازشدگی دریچه بوده که در حالت کاملاً بسته، صفر درجه و در حالت کاملاً باز ۹۰ درجه می‌باشد.



شکل (۱): تصویر تجهیزات آزمایشگاهی

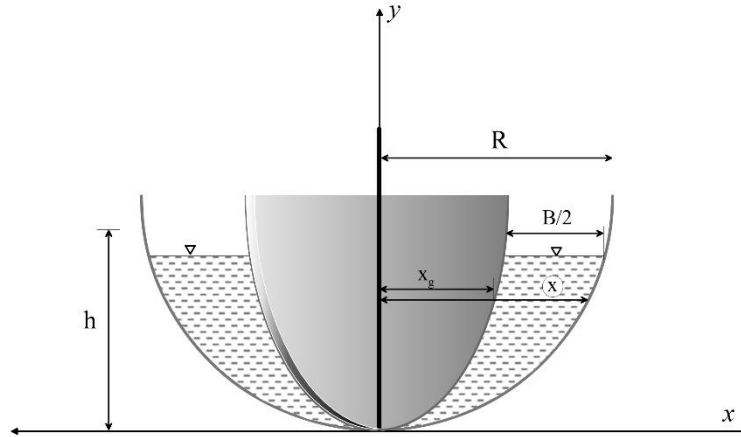


شکل (۲): نمای طولی و عرضی محل نصب پیزومترها و دریچه در کانال

سطح مقطع جریان عبوری از دریچه پروانه‌ای به دو طرف دریچه تقسیم می‌شود. از آنجا که مقطع کانال

شکل نیم هلال است. شکل ۳ شماتیک سطح مقطع جریان را نشان می‌دهد.

نیم‌دایره است، سطح عبور جریان از حد فاصل بین بدنه نیم‌دایره کانال و بازشدگی دریچه صورت می‌گیرد که به



شکل (۳): سطح مقطع جریان

### بحث و نتایج

در انجام آزمایش‌ها ابتدا دریچه در بازشدگی مشخصی تثبیت شد، سپس جریان با دبی معینی در کانال برقرار شده و با راه اندازی سامانه جمع‌آوری داده‌ها، فشار نقاط مورد نظر بستر، ثبت شد. شکل ۴ نمونه‌ای از ثبت نوسانات فشار ترانس‌میتور مربوط به پیژومتر شماره ۲۷ واقع در ۱ متری بالادست دریچه را در مدت ۶۰ ثانیه، برای دبی‌های مختلف و زاویه بازشدگی  $\theta = 50^\circ$  نشان می‌دهد. فشار هر پیژومتر، با متوسط‌گیری داده‌های ثبت شده در بازه زمانی به دست آمد و با استفاده از روابط واسنجی، فشار اندازه‌گیری شده هر ترانس‌میتور به عمق آب تبدیل شد. از آنجا که در نقاط داده برداری شده، توزیع فشار به صورت هیدرواستاتیک است، لذا مقادیر فشار اندازه‌گیری شده به خوبی نمایانگر عمق جریان است. شکل ۵ نمونه‌ای از پروفیل‌های سطح آب اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. شکل ۵-الف مربوط به پروفیل طولی در خط مرکزی کانال و شکل ۵-ب مربوط به پروفیل طولی در سمت راست و شکل ۵-ج پروفیل طولی در سمت چپ مازول محل نصب دریچه می‌باشند. این شکل‌ها مربوط به دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه و بازشدگی‌های ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درجه می‌باشند.

برای محاسبه عرض در سطح جریان لازم است که از معادله حاکم بر محیط دایره و تصویر آن بر صفحه قائم استفاده شود. اگر فرض شود که کانال، یک نیم‌دایره به شعاع R و مرکز  $(x_0, y_0)$  به مختصات  $(0, R)$  باشد، معادله کلی دایره به صورت زیر نوشته می‌شود:

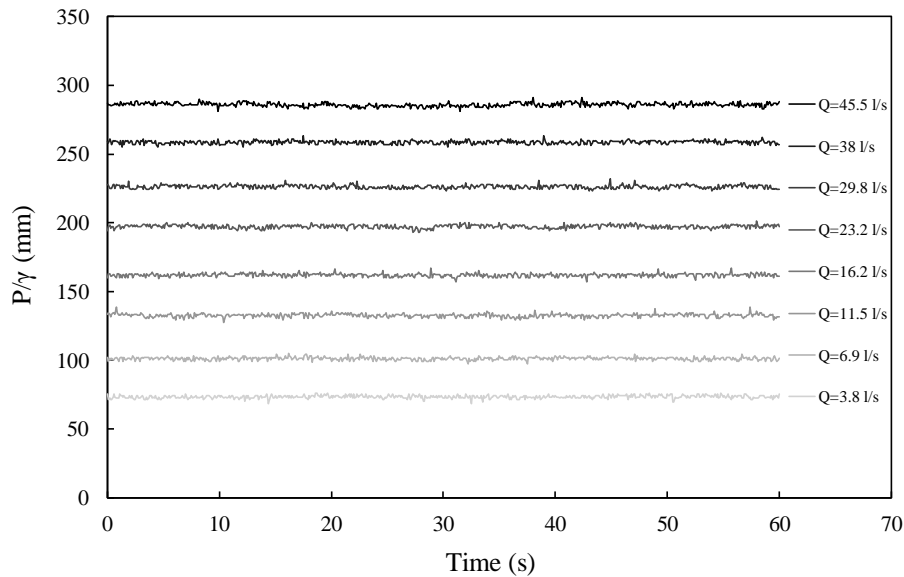
$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2 \quad (1)$$

اگر زاویه بازشدگی دریچه  $\theta$  و عرض تصویر شده دریچه با  $x_g$  نمایش داده شود، معادله b عرض جریان که در سطح مقطع متغیر است، در یک ربع دایره به صورت زیر خواهد بود:

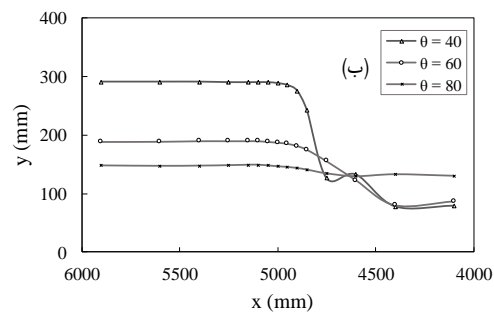
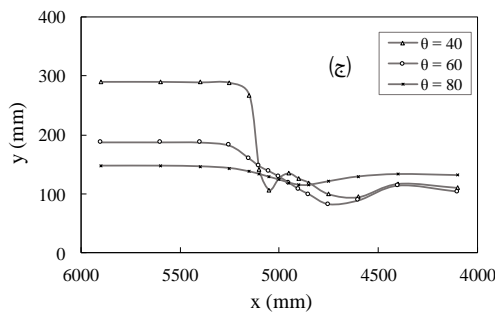
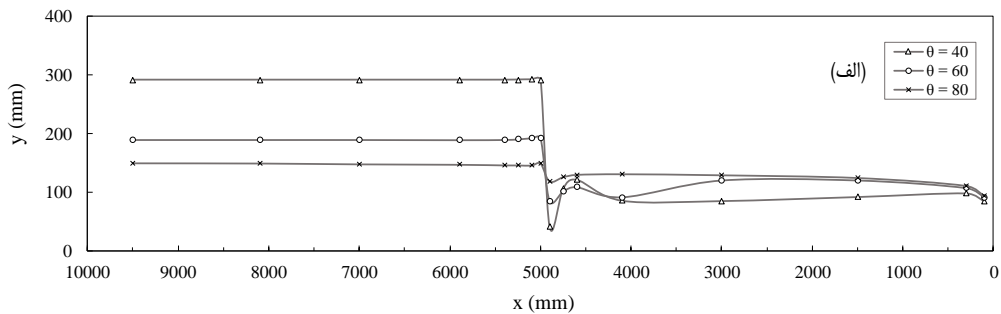
$$\begin{aligned} b &= x - x_g \\ &= \left[ x_0 + \sqrt{R^2 - (y - y_0)^2} \right] (1 - \cos \theta) \\ &= \sqrt{R^2 - (y - R)^2} (1 - \cos \theta) \end{aligned} \quad (2)$$

عرض در سطح جریان به صورت زیر محاسبه می‌شود. در این رابطه، h هد بالادست دریچه می‌باشد:

$$B = 2\sqrt{h(2R - h)}(1 - \cos \theta) \quad (3)$$



شکل (۴): تغییرات فشار در پیزومتر شماره ۲۷ برای دبی های مختلف و زاویه بازشدگی ۵۰ درجه



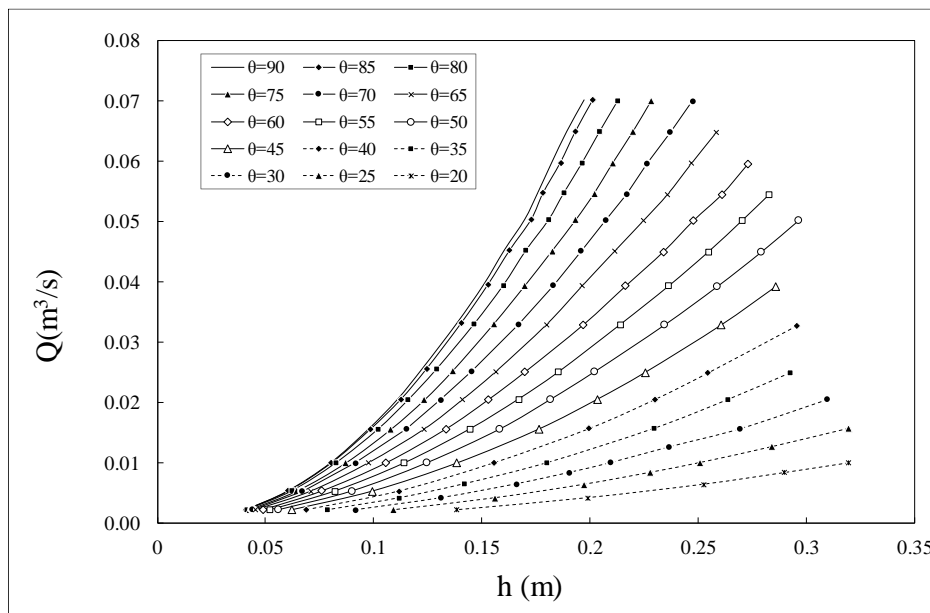
شکل (۵): پروفیل های سطح آب در زوایای مختلف مربوط به دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه (شکل الف پروفیل طولی در خط مرکزی کانال، شکل ب پروفیل طولی در سمت راست و شکل ج پروفیل سمت چپ کانال)

استفاده شود. این مقطع یک متر بالادست دریچه قرار دارد و می توان اطمینان داشت که میزان عمق جریان در این مقطع نسبت به مقاطع بالادست تغییری ندارد. منحنی های دبی - اشل برای زوایای بازشدگی مختلف

تدقیق در داده ها نشان می دهد که عمق جریان در مقطعی به فاصله شش متری از انتهای پایین دست فلوم را می توان به عنوان هد بالادست دریچه انتخاب نمود تا در معادلات محاسبه دبی و رسم منحنی های دبی - اشل

تأثیرپذیری عمق جریان نسبت به تغییرات دبی بیشتر خواهد بود.

در شکل ۶ ترسیم شده است. این منحنی‌ها نشان می‌دهند که هر چه زاویه بازشدگی کمتر باشد



شکل (۶): منحنی‌های دبی - اشل برای زوایای مختلف بازشدگی

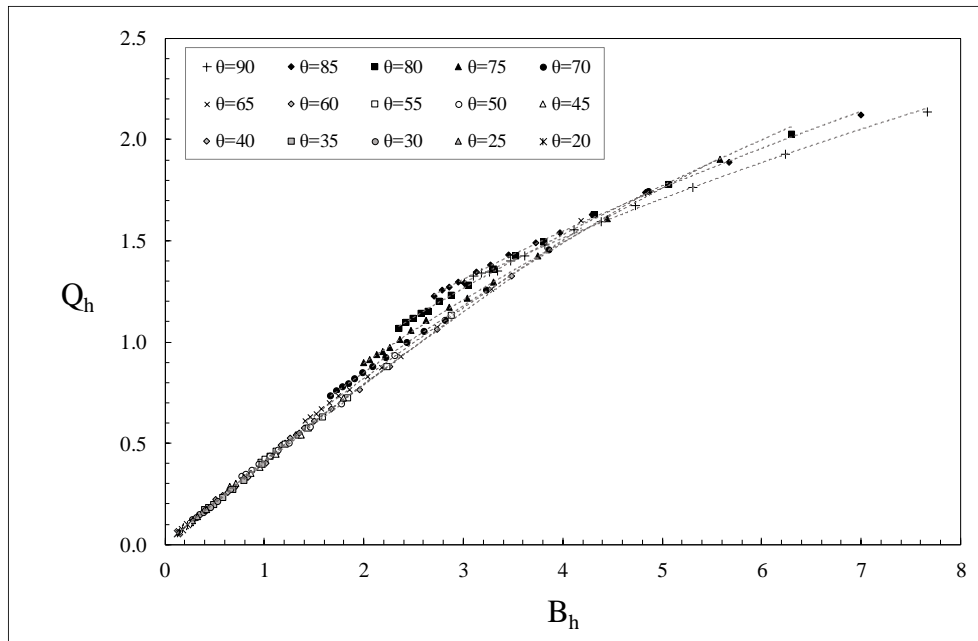
برای تعمیم نتایج در شرایط عمومی، دو پارامتر بی‌بعد دبی جریان،  $Q_h$  و پارامتر بی‌بعد عرض در سطح آب،  $B_h$  به صورت زیر تعریف شده است:

$$B_h = \frac{B}{h} = 2(1 - \cos \theta) \sqrt{\frac{2R}{h} - 1} \quad (۵)$$

$$Q_h = \frac{Q}{\sqrt{gh^5}} \quad (۴)$$

بازشدگی به صورت مستقل مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۷ تغییرات پارامتر بی‌بعد دبی جریان، را نسبت به پارامتر بی‌بعد عرض در سطح آب، نشان می‌دهد. در این شکل نمودارها به تفکیک زاویه بازشدگی ترسیم و به هر کدام یک منحنی برازش داده شده است.

**روش‌های پیشنهادی تعیین دبی عبوری**  
روش تفکیکی هر زاویه: با در دست داشتن مقادیر هد بالادست در دبی‌ها و زوایای مختلف بازشدگی، دو پارامتر بی‌بعد  $Q_h$  و  $B_h$  محاسبه شد. برای محاسبه دبی جریان عبوری از دریچه پروانه‌ای، داده‌های هر زاویه



شکل (۷): تغییرات پارامتر بی بُعد دبی نسبت به عرض نسبی سطح جریان برای زوایای مختلف بازشدگی

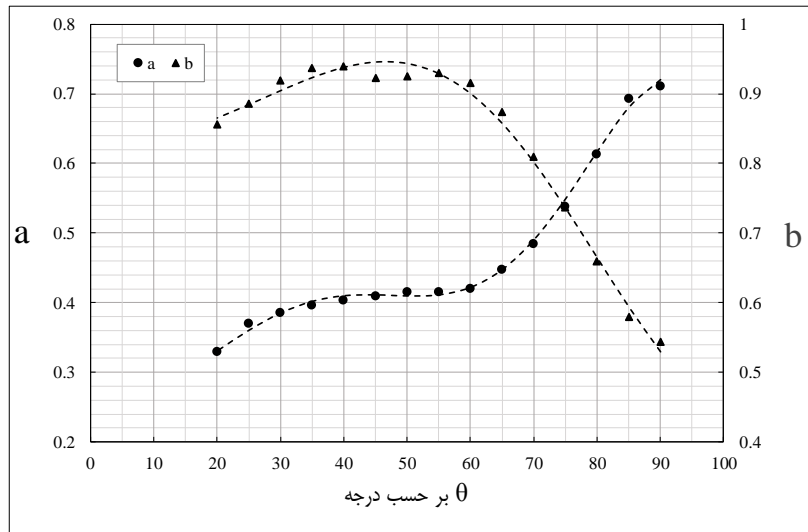
معادلات استخراج و منحنی تغییرات آنها نسبت به زاویه بازشدگی ترسیم شد (شکل ۸). با استفاده از این شکل می‌توان مقادیر دو پارامتر  $a$  و  $b$  را برای هر زاویه بازشدگی به دست آورد. تغییرات دو پارامتر  $a$  و  $b$  نسبت به زاویه بازشدگی به ترتیب از روابط ۷ و ۸ تبعیت می‌کنند. دبی عبوری از دریچه پروانه‌ای را با تنظیم زاویه بازشدگی و اندازه گیری هد بالادست می‌توان با استفاده از رابطه ۹ محاسبه نمود.

روند این منحنی‌ها از معادلات توانی تبعیت می‌کند که می‌توان آنها را به صورت معادله ۶ نمایش داد. در این معادله  $Q_h$  به صورت تابع توانی از  $B_h$  داده شده است که ضریب  $a$  و توان  $b$  در زوایای مختلف بازشدگی، متفاوت است.

$$Q_h = aB_h^b \quad (6)$$

پس از اینکه به هر کدام از منحنی‌ها یک منحنی توانی برازش داده شد، مقادیر توان و ضریب این





شکل (۸): تغییرات ضریب و توان معادله نمایی نسبت به زوایای مختلف بازشدگی

عبوری از دریچه پروانه‌ای را با اندازه‌گیری هد بالادست و زاویه بازشدگی محاسبه نمود (معادله ۱۱).

$$a = -3.89 \cos^4 \theta + 6.82 \cos^3 \theta - 3.17 \cos^2 \theta - 0.23 \cos \theta + 0.72 \quad (7)$$

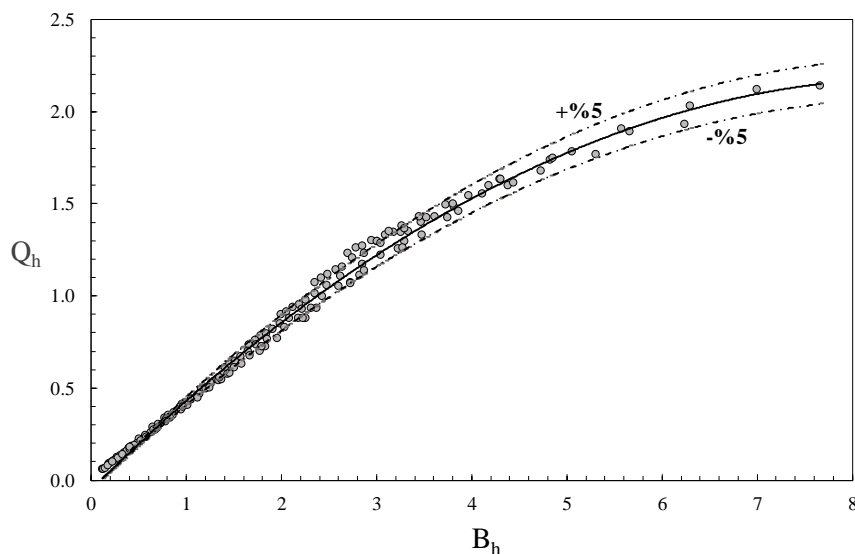
$$Q_h = -0.0294B_h^2 + 0.5124B_h - 0.0516 \quad (10)$$

$$b = 0.262 \cos(3.2 \cos \theta - 2.2) + 0.684 \quad (8)$$

$$Q = [-0.368(1 - \cos \theta)^2 \times \left(\frac{2R}{h} - 1\right) + 3.21(1 - \cos \theta) \times \left(\sqrt{\frac{2R}{h} - 1}\right) - 0.1616].h^{2.5} \quad (11)$$

$$Q = 3.132ah^{2.5} \times \left[2(1 - \cos \theta) \sqrt{\frac{2R}{h} - 1}\right]^b \quad (9)$$

روش تجمیع داده‌ها: شکل ۷ نشان می‌دهد که می‌توان یک تابع چند جمله‌ای درجه دو به کل داده‌ها برازش داد. لذا مطابق با شکل ۹ تمامی داده‌ها بصورت یکپارچه ترسیم و منحنی با معادله ۱۰ بر آنها برازش داده شد. با استفاده از این تابع می‌توان مقادیر دبی



شکل (۹): تغییرات پارامتر بی بعد دبی نسبت به عرض نسبی سطح جریان

#### مقایسه نتایج روش‌های تعیین دبی

برای بررسی و محاسبه مقادیر خطا از شاخص‌های آماری پرکاربرد استفاده شد. در این تحقیق از شاخص‌های متوسط خطای نسبی، مجذور میانگین مربعات خطا، خطای استاندارد و مجذور میانگین مربعات خطای نرمال استفاده شده است که معادلات این شاخص‌ها به ترتیب در روابط ۱۲ تا ۱۵ ارائه شده است:

$$SE = \frac{RMSE}{Q_o} \times 100 \quad (14)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{Q_{o-max} - Q_{o-min}} \times 100 \quad (15)$$

در این روابط،  $Q_o$ ، دبی مشاهده‌ای،  $Q_c$ ، دبی محاسباتی و  $N$  تعداد داده‌ها می‌باشند. در جدول ۱ مقادیر محاسبه شده شاخص‌های مذکور ارائه شده است. مقادیر این شاخص‌ها نشان می‌دهد که روش تفکیکی هر زاویه از دقت بالاتری نسبت به روش تجمیع داده‌ها برخوردار است.

$$Error = \left( \sum \left| \frac{Q_o - Q_c}{Q_o} \right| / N \right) \times 100 \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (Q_o - Q_c)^2}{N - 1}} \quad (13)$$

جدول (۱): بررسی خطای روش‌های محاسبه دبی بر اساس شاخص‌های آماری

NRMSE (%)	SE (%)	RMSE (cms)	Error (%)	
۰/۷۵	۱/۸۵	۰/۰۰۰۵	۱/۴۲	روش تفکیکی هر زاویه
۳/۰۷	۷/۶۳	۰/۰۰۲۱	۷/۳۴	روش تجمیع داده‌ها

## انتخاب روش پیشنهادی

تحلیل نتایج به دست آمده از دو روش پیشنهادی محاسبه دبی جریان با استفاده از شاخص‌های آماری نشان می‌دهد که در مجموع هر دو روش از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. در روش تفکیکی ابتدا لازم است با استفاده از مقدار زاویه بازشدگی دریچه، پارامترهای  $a$  و  $b$  محاسبه شده، سپس با داشتن مقدار هد بالادست و شعاع دریچه، مقدار دبی جریان از رابطه ۹ محاسبه شود. اما در روش تجمیع داده‌ها با در دست داشتن مقادیر شعاع و زاویه بازشدگی دریچه و هد بالادست، مقدار دبی جریان به طور مستقیم و با استفاده از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود. بنابراین در روش تفکیکی زاویه، تعداد محاسبات بیشتر است ولی نتایج حاصل دقیق‌تر از روش تجمیع داده‌ها است. از اینرو استفاده از روش تفکیکی به دلیل داشتن محاسبات بیشتر و دقت بالاتر برای کاربرد در مدل‌های رایانه‌ای که به منظور مدیریت مانور دریچه تهیه می‌شوند توصیه می‌شود و استفاده از روش تجمیع به دلیل کوتاه بودن محاسبات برای تخمین‌های اولیه کافی خواهد بود.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش به معرفی دریچه پروانه‌ای به منظور کنترل و اندازه‌گیری جریان در کانال‌ها پرداخته شده است. انجام این تحقیق بر مبنای داده برداری آزمایشگاهی بوده و عمق جریان با استفاده از ترانسمیترهای فشار، در راستای طولی فلوم، برای دبی‌های مختلف جریان و چندین زاویه بازشدگی دریچه،

## منابع

Belaud, G., L. Cassan, and J. P. Baume. 2009. Calculation of Contraction Coefficient under Sluice Gates and Application to Discharge Measurement. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135 (12): 1086-1091.

Benjamin, T. B. 1956. On the flow in channels when rigid obstacles are placed in the stream. *Journal of Fluid Mechanics*, 1: 227-248.

Bos, M. G. 1976. Discharge measurement structures. (ILRI Publication; Vol. 20). Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI).

اندازه‌گیری شده است. همچنین در این تحقیق با استفاده از منحنی‌های دبی-اشل و تعریف دو پارامتر  $B_h$  و  $Q_h$ ، دو روش تفکیکی و تجمیع داده‌ها، برای محاسبه دبی عبوری از دریچه پروانه‌ای ارائه شده است. روش تفکیکی هر زاویه، از برازش تابع توانی به داده‌های مشاهده‌ای مربوط به هر زاویه بازشدگی دریچه به دست آمده است و در روش تجمیع داده‌ها، یک تابع چندجمله‌ای درجه دو برای کل داده‌های مشاهده‌ای تعریف شده است. برای مقایسه دقت دو روش مذکور از شاخص‌های آماری استفاده شد و نتایج نشان داد که روش تفکیکی هر زاویه به دلیل اینکه تغییرات پارامتر  $B_h$  در هر زاویه بازشدگی مورد توجه قرار می‌دهد، دقیق‌تر به نظر می‌رسد. شاخص درصد خطا برای روش‌های تفکیکی و تجمیع به ترتیب برابر با ۱/۴۲ و ۷/۳۴ درصد می‌باشد که نشان می‌دهد هر دو روش از دقت قابل قبولی در تعیین دبی جریان برخوردار هستند.

## تشکر و قدردانی

نویسنده اول از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری برای تامین بخشی از هزینه‌های تحقیق در قالب فرصت مطالعاتی تشکر و قدردانی می‌کند. همچنین نویسندگان از گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران که امکانات لازم برای انجام این تحقیق را فراهم نموده است، کمال تشکر و قدردانی را دارند.



- Daneshfaraz, R., Ghahramanzadeh, A., Ghaderi, A., Rezazadeh Joudi, A. and Abraham, J. 2016. Investigation the effect of edge shape on characteristics of flow under vertical gates, Journal American Water Works Association, 108(8): 425-432
- Del Toro A., M. Johnson and R.E. Spall. 2015. Computational fluid dynamics investigation of butterfly valve performance factors, Journal American Water Works Association, 107(5): 243-254.
- Ferro, V. 2000. Simultaneous flow over and under a gate. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. ASCE. 126 (3): 190-193.
- Henderson, F. M. 1966. Open channel flow, Macmillan, New York, 522 pp.
- Henderson, A.D.; J.E.Sergison, G.J.Walker and J.Haynes. 2008. A Numerical Prediction of the Hydrodynamic Torque Acting on a Safety Butterfly Valve in a Hydro-Electric Power Scheme. WSEAS Transactions on Fluid Mechanics, 3(3): 218-223.
- Huang, C. and R. H. Kim . 1996. Three-dimensional analysis of partially open butterfly valve flows. Journal of Fluids Engineering, 118(3)
- Kim D.G., 2007, Numerical Analysis of Free Flow Past a Sluice Gate, Journal of Civil Engineering, 11(2):127-132.
- Kimura, T., T. Tanaka, K. Fujimoto and K.Ogawa. 1995. Hydrodynamic characteristics of a butterfly valve—Prediction of pressure loss characteristics. ISA Transactions, 34(4): 319-326.
- Ogawa, K., and T.Kimura. 1995. Hydrodynamic Characteristics of a Butterfly Valve-Prediction of Torque Characteristics. ISA Transaction, 34(4): 327–333.
- Rajaratnam, N. and K. Subramanya. 1967a. Flow equation for the sluice gate. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 93(IR3): 167-186.
- Rajaratnam, N. and K. Subramanya. 1967b. Flow immediately below submerged sluice gate. Journal of the Hydraulics Division, 93(HY4): 57-77
- Roth, A. and W.H. Hager. 1999. Underflow of standard sluice gate. Experiments in Fluids, 27(4): 339-350
- Sarpkaya T. 1959. Oblique Impact of a Bounded Stream on a Plane Lamina. Journal of The Franklin Institute, 267: 229-242.
- Sarpkaya T. 1961. Torque and Cavitation Characteristics of Butterfly Valves. Journal of Applied Mechanics, 28 (4): 511–518
- Swamee, P.K. 1992. Sluice-gate discharge equations. Journal Irrigation and Drainage Engineering., 118(1): 56–60.
- Vanden-Broeck, J. 1997. Numerical calculations of the free-surface flow under a sluice gate. Journal of Fluid Mechanic, 330: 339–347.
- White, K. L. and I. Chaubey. 2005. Sensitivity Analysis, Calibration and Validations for a Multisite and Multivariable SWAT Model. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA) 41(5):1077-1089.



## Evaluation of Efficiency the Butterfly Gate as a Structure for Control and Flow Measurement in Semicircular Canals

Ava Marashi<sup>۱</sup>, Hojjat Allah Yonesi<sup>۲</sup>, Salah Kouchakzadeh<sup>۳</sup>, Hassan Torabi Poudeh<sup>۴</sup>

### Abstract

In this study, a new structure called that the butterfly gate is introduced to control and measure the flow in canals, which is usually a parabolic or semicircular cross section. For this purpose, the hydraulic performance of this gate and the effect of flow parameters and gate opening angle on the flow depth have been investigated in a semicircular canal. Also in this study, with using a data collection system and recording of the pressure data at different point in canal determined the depth flow while providing the stage-discharge relationship curves for different opening angles, two methods are presented for estimation of flow discharge through the butterfly gate. This estimation can be used both as a separation technique of each angle and as a data aggregation technique. The precision of these methods have been evaluated by using the statistical indices. The results show that, the each method with a high accuracy 95% can estimate the discharge through in canal.

**Keywords:** Prefabricated canal, Butterfly gate, Stage-discharge relationship, Angle of opening

---

<sup>۱</sup> Phd. Candidate Hydraulic Structures, Department of Water Eng. , Lorestan University, Khorramabad, Iran, awe\_marashi@yahoo.com

<sup>۲</sup> Assistance Professor Department of Water Eng. , Lorestan University, Khorramabad, Iran, yonesi.h@lu.ac.ir (Corresponding Author)

<sup>۳</sup> Professor, Department of Irrigation and Reclamation Eng. , University of Tehran, Karaj, Iran, skzadeh@ut.ac.ir

<sup>۴</sup> Associate Professor, Department of Water Eng. , Lorestan University, Khorramabad, Iran , torabi1976@gmail.com