

## بررسی خصوصیات هیدرولیکی دریاچه‌های آویزان در انتهای کانال‌های دوزنقه‌ای

علی مقتدری و ابراهیم ولیزادگان\*

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۱۳)

### چکیده

در تحقیق حاضر، خصوصیات هیدرولیکی دریاچه‌های آویزان که در انتهای کانال‌های دوزنقه‌ای نصب شده‌اند مورد بررسی قرار گرفت. در مدل ساخته شده از سه کانال دوزنقه‌ای و چهار دریاچه با وزن‌های متفاوت برای هر کانال استفاده شد. با استفاده از آنالیز ابعادی و بر اساس آزمایش‌های متعدد، معادلاتی برای تخمین دبی جریان برای هر شیب جانبی توسعه داده شدند. در این تحقیق پنج فرم رابطه دبی - اشل، به کار گرفته شدند تا برای هر شیب جانبی روابط جداگانه‌ای برای تخمین دبی جریان به دست آید. نتایج نشان می‌دهند در یک کانال با شیب جانبی معین هیچ کدام از فرم‌های رابطه دبی - اشل که بتواند وزن دریاچه‌های متفاوت را در قالب رابطه‌ای واحد در برداشته باشد برای تخمین دبی مناسب نیستند. اما فرم‌های اول، دوم و سوم رابطه دبی - اشل برای تخمین دبی جریان در یک کانال با شیب جانبی مشخص فقط برای یک دریاچه با مشخصات معین کاملاً مناسب هستند. در برآورد دبی با استفاده از فرم اول رابطه دبی - اشل مقادیر حداکثر پارامترهای آماری ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، حداکثر خطا (ME) و درصد متوسط خطای نسبی (MARE)، در بین هر سه کانال به ترتیب ۰/۰۰۰۱ مترمکعب بر ثانیه، ۰/۰۰۰۲۲ مترمکعب بر ثانیه و ۰/۲۲ درصد به دست آمده‌اند. مقادیر کلیه پارامترهای آماری فوق برای فرم‌های اول، دوم و سوم رابطه دبی - اشل در متن مقاله ارائه شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: دریاچه آویزان - کانال دوزنقه‌ای - کنترل جریان - اندازه‌گیری جریان

۱. گروه مهندسی عمران آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوی، خوی، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mo\_he3197@yahoo.com

## مقدمه

نصب و ایجاد سازه‌های مناسب اندازه‌گیری جریان، بهره‌برداری صحیح از آنها و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به مصرف آب در قدرت تصمیم‌گیری برای مدیران شبکه، عدالت در توزیع و تحول آب و در نهایت صرفه‌جویی در مصرف آب نقشی اساسی دارد. یکی از تجهیزات ساده و ارزان برای کنترل خودکار و همچنین اندازه‌گیری جریان دریچه آویزان (شکل ۱) است. این سازه متشکل از یک ورقه نازک فلزی است که توسط یک بازو به نقطه‌ای لولا می‌شود. دریچه می‌تواند حول لولا تحت تأثیر نیروهای وارده باز و بسته شود. با اضافه یا کم شدن وزن دریچه می‌توان میزان جریان را کنترل کرد. با افزایش سطح آب در پشت دریچه، نیروی‌های هیدروستاتیک و هیدرودینامیک وارد بر دریچه افزایش یافته و باعث باز شدن هرچه بیشتر دریچه می‌شود. از مزایای دریچه‌های آویزان می‌توان به هزینه کم ساخت و هزینه ناچیز نصب، مناسب بودن برای نصب دائمی و غیردائمی، قابلیت انتقال رسوب بالادست، خودکار بودن دریچه، تسهیل در اندازه‌گیری از راه دور و کم بودن هزینه تعمیر و نگهداری آن اشاره کرد. با توجه به قابلیت‌های فوق، پژوهش‌های متعددی در مورد هیدرولیک جریان از زیر دریچه‌های آویزان در نقاط مختلف دنیا صورت گرفته است. در پژوهش سیدزاده و وطن‌خواه (۱۳۹۶)، دریچه آویزان در طول کانال مستطیلی تحت جریان آزاد آزمایش شده‌اند. آنها از رابطه دریچه‌های کشویی به‌منظور تخمین دبی این سازه استفاده کردند و پس از انجام ۶۴ آزمایش نتیجه گرفتند که در صورت استفاده از ضریب دبی ثابت  $0.522$  متوسط خطایی برابر  $3/4$  درصد حاصل می‌شود اما مقدار حداکثر خطا به  $18$  درصد نیز می‌رسد. همچنین رابطه‌ای را برای تخمین زاویه انحراف در مواقعی که اندازه‌گیری آن ممکن نیست به‌دست آوردند. این رابطه قادر است دبی را با متوسط خطای  $4/4$  درصد برآورد کند. محمودی و همتی (۱۳۹۵) با استفاده از

داده‌های چوان چان و همکاران (۲۰۱۴) برای دریچه‌های آویزان، به توسعه دو فرم رابطه دبی-اشل برای تخمین دبی جریان عبوری از دریچه آویزان نصب شده در کانال مستطیلی پرداختند که روش اول آنها، بر اساس روش فررو (Ferro) است. این روش دارای متوسط خطای نسبی  $1/06$  درصد برای تخمین دبی جریان عبوری از دریچه آویزان در رژیم جریان آزاد و  $2/28$  درصد برای جریان مستغرق بود. روش دوم آنها، روشی تجربی بود که دبی جریان را به‌صورت مستقیم تخمین می‌زد، که خطای نسبی این روش برای جریان‌های آزاد و مستغرق به ترتیب  $1/58$  و  $3/5$  درصد بود. آنها در نهایت با توجه به پارامترهای آماری، برتری روش فررو را نشان دادند. رامی و هیگر (1998) نیروهای وارده بر دریچه آویزان در کانال مستطیلی را بررسی و اعلام کردند زمانی که دریچه کاملاً بسته است فشار وارده بر آن از توزیع خطی تبعیت می‌کند. هر قدر دریچه بیشتر باز شود تفاوت بین نیروی استاتیک و نیروی واقعی افزایش می‌یابد. آنها معادله‌ای را برای تخمین نیروی وارده از جریان به دریچه (که تابعی از درجه بازشدگی دریچه است) پیشنهاد و این معادله را با استفاده از معادله مومنتم بررسی کردند. رپلاگل و والین (2003) افت انرژی در دریچه آویزان با مقطع دایره‌ای که در انتهای زهکش‌ها نصب شده پژوهشگر خود را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند، زمانی که وزن دریچه کم و سرعت جریان زیاد باشد افت انرژی ایجاد شده توسط دریچه به صفر میل می‌کند و زمانی که وزن دریچه بیشتر و سرعت کمتر باشد میزان افت انرژی بیشتر می‌شود. آنها اعلام کردند که در شرایط هیدرولیکی یکسان افت انرژی در دریچه آویزان نسبت به دیگر سازه‌های هیدرولیکی اندازه‌گیری و کنترل جریان کمتر است. لیتریکو و همکاران (2005) با استفاده از تعادل گشتاورهای وارد شده به لولای دریچه، رابطه‌ای را برای تخمین دبی جریان در حالت رژیم جریان آزاد پیشنهاد دادند. در کانال



شکل ۱. نمای از دریچه‌های آویزان در انتهای کانال

توسط رابطه به دست آمده،  $3/6$  درصد در صورت صرف نظر کردن از اثرات لزجت و  $3$  درصد در صورت لحاظ کردن اثرات لزجت اعلام شد. آنها با توجه به پایین بودن متوسط و بیشینه خطای روابط ارائه شده برای صفحه نیم دایره‌ای آویزان، این سازه را به عنوان یک سازه اندازه‌گیری دبی در کانال نیم‌دایره‌ای پیشنهاد کردند. با توجه به موارد فوق، اکثر پژوهش‌های ذکر شده، در کانال‌های مستطیلی و در بعضی موارد دایره‌ای انجام شده است. در تحقیق حاضر آزمایش‌هایی روی دریچه‌های آویزان نصب شده در انتهای کانال‌های دوزنقه‌ای با هدف بررسی امکان اندازه‌گیری دبی جریان صورت گرفت که نتایج در قسمت‌های زیر ارائه می‌شوند.

## مواد و روش‌ها

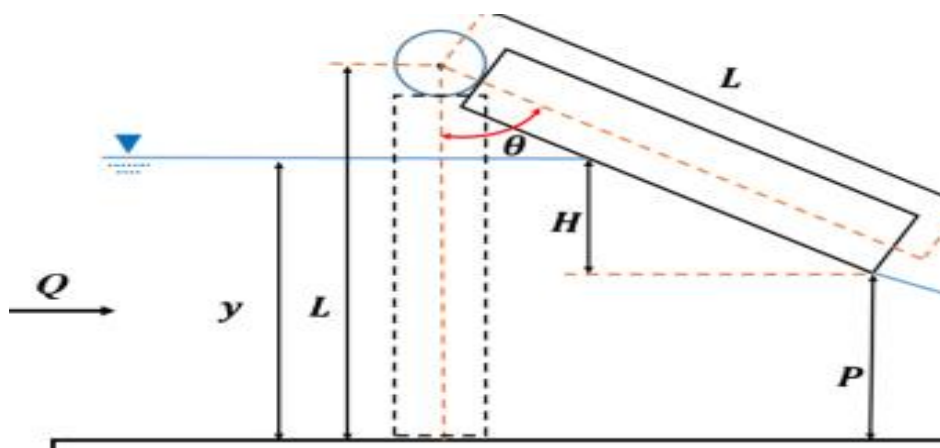
### تحلیل ابعادی

با در نظر گرفتن پارامترهای موثر هندسی، سینماتیکی و دینامیکی موثر بر جریان آزاد در دریچه آویزان در یک کانال دوزنقه‌ای با شیب جانبی معین، رابطه تابعی جریان در رابطه ۱ و شکل ۲ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f(Q, \theta, y, w, g, \rho, L, B, \mu, \sigma) = 0 \quad (1)$$

که در آن،  $L$ : طول دریچه (که در این آزمایش برابر عمق کانال در نظر گرفته شده است)،  $Q$ : دبی جریان،  $y$ : عمق جریان،  $w$ : وزن دریچه،  $g$ : شتاب ثقل زمین،  $\rho$ : جرم حجمی آب،  $B$ :

دایره‌ای برای تخمین دبی عبوری از دریچه آویزان در حالت جریان تحت فشار، تحقیقی توسط بارروس و علی (1997) صورت گرفته که با توجه به نتایج به دست آمده خطای تخمین دبی جریان از  $20$  درصد تا  $30$  درصد است. در تحقیقات منعم و شیرین‌زاده (۱۳۸۰) سازه آویزه‌ای برای اندازه‌گیری دبی آبگیر در محدوده  $0/3$  تا  $20$  لیتر بر ثانیه برای دو حالت جریان آزاد و مستغرق طراحی و واسنجی شده است. آنها به این نتیجه رسیدند که زاویه انحراف سازه با دبی جریان در شرایط آزاد همبستگی بسیار بالایی با ضریب همبستگی بزرگ‌تر از  $0/99$  دارد و برای اندازه‌گیری دبی در محدوده فوق دارای حداکثر خطای  $\pm 10\%$  است. همچنین برای تعیین دبی جریان در شرایط مستغرق که عمق جریان پایین‌دست بیشتر از عمق نرمال است، از یک ضریب اصلاحی استفاده کردند. به منظور برآورد میزان دبی در کانال‌های دایره‌ای رو باز افقی با استفاده از دریچه‌های آویزان نیم‌دایره‌ای، مدل‌هایی از این دریچه‌ها توسط قادری نیا و سیدزاده (۱۳۹۷) ساخته شد و آزمایش‌های روی آنها انجام گرفت. به منظور ارائه رابطه آبگذری سازه مورد نظر که تابعی از مشخصات هیدرولیکی جریان و مشخصات هندسی سازه است، رابطه‌ای صریح برای تخمین عمق بحرانی در کانال‌های دایره‌ای توسط آنها ارائه شد. سپس رابطه به دست آمده با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی (۲۵۴ سری داده) واسنجی شد. متوسط خطای برآورد دبی



شکل ۲. طرح نمادین از مشخصات دریاچه آویزان و نحوه نصب در انتهای کانال

که پارامتر بی بعد  $Q^*$  بر اساس دیگر پارامترهای بی بعد موجود در رابطه ۴ محاسبه می شود. بر اساس پارامترهای بدون بعد فوق، برای استخراج رابطه تعیین دبی جریان پنج روش زیر در نظر گرفته شد؛

- فرم اول رابطه دبی - اشل: در این فرم رابطه دبی - اشل تأثیر فاکتورهای عرض کف کانال ( $B$ )، عمق جریان ( $y$ )، زاویه بازشدگی دریاچه ( $\theta$ ) و وزن دریاچه ( $w$ ) به طور همزمان در نظر گرفته شده اند.

$$Q^* = a \left( \frac{B}{y} \tan(\theta) W^* \right)^b \quad (5)$$

- فرم دوم رابطه دبی - اشل: یکی از مشکلات استفاده از دریاچه های آویزان به عنوان سازه اندازه گیری جریان، نوسان دریاچه در مقابل جریان های حتی خیلی کم، است. که باعث دقت پایین در قرائت زاویه بازشدگی دریاچه می شود. وجود پارامتر زاویه بازشدگی دریاچه ( $\theta$ ) در معادله ۵ که به عوامل مختلفی مانند وزن دریاچه، نیروهای هیدروستاتیک و هیدرودینامیک وارد شده از طرف جریان بستگی دارد، برای تخمین دبی جریان یک مشکل اساسی خواهد بود. بنابراین برای سهولت در استفاده از این سازه برای اندازه گیری جریان، فرم دوم رابطه دبی - اشل نیز مورد توجه قرار گرفت. در این فرم تنها با اندازه گیری عمق جریان و وزن دریاچه می توان دبی جریان را برآورد کرد.

عرض کف کانال،  $Q\theta$  زاویه بازشدگی دریاچه،  $\mu$ : ضریب لزجت دینامیک آب و  $\sigma$ : ضریب کشش سطحی آب است. با استفاده از روش - باکینگهام پارامترهای بدون بعد به صورت زیر به دست می آید:

$$f \left( \frac{Q}{\sqrt{gy^5}} = Q^*, \frac{w}{\rho gy^3} = w^*, \tan(\theta), \frac{L}{y}, \frac{B}{y}, Re, We \right) = 0 \quad (2)$$

در این تحقیق با توجه به رابطه ۲ پارامترهای بی بعد به صورت زیر در نظر گرفته شده اند:

$$\pi_1 = \frac{Q}{\sqrt{gy^5}} = Q^*, \pi_2 = \frac{w}{\rho gy^3} = W^*, \pi_3 = \tan(\theta), \pi_4 = \frac{L}{y}, \pi_5 = \frac{B}{y}, \quad (3)$$

در رابطه ۲ پارامترهای بدون بعد  $Re$  و  $We$  به ترتیب عدد رینولدز و عدد وبر هستند. با توجه به متلاطم بودن جریان، و نیز وجود عمق و عرض کافی برای جریان هم در کف کانال و هم در سطح آزاد آب و ناچیز بودن کشش سطحی، از تأثیر عدد رینولدز و عدد وبر صرف نظر شد. همچنین پارامترهای بی بعد  $L/y$  و  $B/y$  تأثیر ثابتی روی تغییرات  $Q^*$  دارند. بنابراین رابطه تابعی بدون بعد ۲ را می توان به صورت زیر نیز در نظر گرفت:

$$f \left( Q^*, w^*, \frac{B}{y}, \tan(\theta) \right) = 0 \quad (4)$$

واحد خوی طراحی و ساخته شد. در یک کانال با شیب جانبی معین، پس از نصب دریاچه در انتهای کانال، پس از برقراری جریان در کانال، متغیرهای مورد نیاز پس از ثابت شدن سطح آب در بالادست دریاچه ثبت شدند. این متغیرها شامل دبی جریان، عمق جریان و زاویه بازشدگی دریاچه هستند. محل نصب لولا، لبه بالایی دیواره‌های کانال بوده و ارتفاع دیواره هر سه کانال در جهت قائم ۱۵ سانتی‌متر است. برای یک دریاچه مشخص ۱۳ آزمایش انجام گرفت پس از برداشت پارامترهای مورد نیاز، دریاچه بعدی در انتهای کانال نصب شد و آزمایش‌های قبلی برای این دریاچه نیز تکرار شدند. آزمایش‌ها برای چهار دریاچه در یک کانال با شیب جانبی معین، صورت گرفتند. به دلیل تفاوت در شیب‌های جانبی کانال‌ها، وزن دریاچه‌های مربوط به هر کانال با کانال دیگر متفاوت است. بنابراین در مجموع ۵۲ آزمایش برای یک کانال انجام شد. تمامی آزمایش‌های فوق برای کانال‌های بعدی نیز انجام شدند. بنابراین تعداد ۱۵۶ آزمایش انجام شد. دبی جریان در این تحقیق به روش حجمی اندازه‌گیری شد. همچنین برای اندازه‌گیری عمق جریان از یک سطح‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. زاویه بازشدگی دریاچه نیز توسط اشلی که در انتهای کانال نصب شده بود، اندازه‌گیری شد. وزن دریاچه‌های مورد استفاده در آزمایش‌ها از ۰/۰۴ تا ۰/۲۲ کیلوگرم متغیر هستند. برای آویختن دریاچه در انتهای کانال، لولایی در لبه بالایی دیواره کانال‌ها نصب شد. این لولا در لبه بالای دیواره کانال طوری نصب شد که در صورتی که جریانی در کانال برقرار نباشد دریاچه باعث بسته شدن انتهای کانال شود به عبارت دیگر دریاچه در وضعیت بازشدگی صفر درجه قرار گیرد. برای کم کردن اصطکاک در هنگام چرخیدن لولا، در هر آزمایش لولا روغن کاری می‌شد. یکی از کانال‌های مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۳ و محدوده پارامترهای مورد نظر در آزمایش‌ها در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

$$Q^* = a(W^*)^b \quad (6)$$

در تحقیقات فرهودی و محمودی (۱۳۹۷) در رابطه ۶ به جای  $W^*$  از  $B/y$  استفاده شده است.

– فرم سوم رابطه دبی – اشلی: برای بررسی تأثیر همزمان عرض کف کانال و وزن دریاچه و همچنین عمق جریان در تخمین دبی، فرم سوم رابطه دبی اشلی به صورت رابطه ۷ در نظر گرفته شد:

$$Q^* = a \left[ \frac{B}{y} W^* \right]^b \quad (7)$$

– فرم چهارم رابطه دبی – اشلی: این فرم به نوعی همان فرم به کار گرفته شده در نظریه خود تشابه ناقص است که برای اولین بار توسط فرو (۲۰۰۰) ارائه شده است. ضرایب موجود در این فرم (رابطه ۸)، با استفاده از آنالیز رگرسیون چندمتغیره غیرخطی به دست آمده‌اند (همانند پژوهش‌های محمودی و فرهودی (۱۳۹۷) و محمودی و همتی (۱۳۹۵) با این تفاوت که در تحقیقات آنها به جای  $Tan(\theta)$  از  $\theta$  استفاده شده است)

$$Q^* = a \left( \frac{B}{y} \cdot Tan(\theta) \right)^{\left( b + \frac{c}{\ln(W^*)} \right)} + d \quad (8)$$

فرم پنجم رابطه دبی – اشلی: در این تحقیق، فرم پنجم رابطه دبی – اشلی که یک رابطه چندمتغیره غیرخطی است، به صورت رابطه ۹ بررسی شد:

$$Q^* = a \left( \frac{w}{\rho g y^3} \right)^b + c \left( \frac{B}{y} Tan(\theta) \right)^d \quad (9)$$

در روابط ۵ تا ۹ ضرایب  $a, b, c, d$  ضرایب رگرسیونی در رابطه مربوطه هستند.

#### تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش‌ها

به منظور بررسی خصوصیات هیدرولیکی دریاچه آویزان در انتهای کانال دوزنقه‌ای، کانالی به عرض کف ۱۵ سانتی‌متر و به طول ۳/۵ متر در سه شیب جانبی مختلف (۰/۵، ۱ و ۱/۵) در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی



شکل ۳. کانال مورد آزمایش

جدول ۱. حد بالا و پایین پارامترهای مورد بررسی

حد	w*	Q*	Tan(□)	Re	Fr	V(m/s)
کمترین	۱/۲۶	۱/۲۹	۰/۰۴۵	۶۲۷۰	۰/۲	۰/۱
بیشترین	۵۷/۹۵	۶/۸	۰/۳۵۷	۴۳۸۱۲	۰/۸۹	۰/۵

(Fr عدد فرود، Re عدد رینولدز و V سرعت متوسط جریان)

### نتایج و بحث

بر اساس نتایج حاصل از انجام آزمایش‌های متعدد، فرم‌های مختلف دبی-اشل برای هر کانال مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل به قرار زیر به دست آمد:

#### - فرم‌های اول، دوم و سوم رابطه دبی-اشل

بر اساس این فرم‌ها، رابطه واحدی برای تخمین دبی هر چهار دریچه در یک کانال با شیب جانبی معین به دست نیامد. اما این فرم‌ها برای هر دریچه به‌طور جداگانه برای تخمین دبی در هر کانال کاملاً مناسب هستند. ضرایب موجود در فرم‌های اول، دوم و سوم رابطه دبی-اشل (روابط ۵، ۶ و ۷) برای هر سه کانال به‌ازای W'های مختلف در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین تغییرات Q\* با پارامترهای مختلف موجود در روابط ۵ تا ۷ برای کانال‌های با شیب جانبی ۰/۵ و ۱ به‌ازای W'های

#### پارامترهای مختلف تعیین میزان خطای تخمین دبی:

مقدار متوسط خطای نسبی (MARE)، حداکثر خطا (ME) و میانگین مربعات خطا (RMSE) در تخمین دبی از روابط ۱۰، ۱۱ و ۱۲ استفاده می‌شود:

$$MARE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left( \frac{Q_{(exp)} - Q_{(cal)}}{Q_{(exp)}} \right) \quad (10)$$

$$ME = \max |Q_{(exp)} - Q_{(cal)}| \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{(exp)} - Q_{(cal)})^2}{N}} \quad (12)$$

که در آن، Q<sub>(exp)</sub>: داده‌های آزمایشگاهی، Q<sub>(cal)</sub>: داده‌های محاسباتی از معادله‌های پیشنهادی و N: تعداد کل آزمایش‌ها (تعداد داده‌ها) هستند.

جدول ۲. ضرایب موجود در فرم‌های اول، دوم و سوم رابطه دبی-اشل (روابط ۵، ۶ و ۷) برای کانال با شیب‌های جانبی مختلف

کانال	W'	فرم اول		فرم دوم		فرم سوم	
		a	b	a	b	a	b
Z=0.5	0.01185	3/2338	0/2935	3/18535	0/2728	2/1478	0/2046
	0.0237	1/5997	0/4442	0/0528	0/3702	1/4518	0/2777
	0.0444	1/4767	0/02704	1/7264	0/1873	1/4922	0/1405
	0.0592	1/1252	0/01977	1/1589	0/1392	1/0504	0/1044
Z=1	0.0148	2/8655	0/2521	3/2626	0/221	2/5852	0/1657
	0.0267	2/2243	0/1741	2/4238	0/137	2/141	0/1027
	0.0474	1/2636	0/02931	1/4668	0/2029	1/2566	0/1522
	0.0622	0/6406	0/4699	0/746	0/3056	0/6034	0/2292
Z=1.5	0.0178	1/9857	0/3184	2/1364	0/2964	1/5849	0/2223
	0.0296	1/5495	0/2699	1/7513	0/19	1/473	0/1445
	0.0503	1/1452	0/2698	1/2432	0/2036	1/0678	0/1527
	0.0652	1/0163	0/2285	0/0084	0/1652	0/9008	0/1239

کانال‌هایی با شیب جانبی مختلف از روند مشخصی تبعیت نمی‌کنند. در شکل ۶ دبی‌های بی‌بعد محاسبه شده (از رابطه ۸) و آزمایشگاهی به‌ترتیب برای کانال‌های با شیب جانبی (0/5، 1 و 1/5) ارائه شده‌اند. این شکل گویای عدم تطابق دبی‌های بی‌بعد محاسباتی و آزمایشگاهی هستند. در تحقیقات فرهودی و محمودی این فرم مناسب تشخیص داده شده است.

#### فرم پنجم رابطه دبی - اشل

این فرم از رابطه دبی - اشل برای تخمین دبی جریان رابطه‌ای غیرخطی به‌صورت رابطه ۹ مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از آنالیز رگرسیونی چندمتغیره غیرخطی ضرایب موجود در این رابطه در جدول ۵ ارائه شده است. با توجه به مقادیر ارائه شده در جدول ۵ این فرم رابطه دبی اشل برای تخمین دبی جریان مناسب به‌نظر نمی‌رسد.

#### نتیجه‌گیری

در این تحقیق پس از انجام آزمایش‌های مورد نیاز، پنج فرم

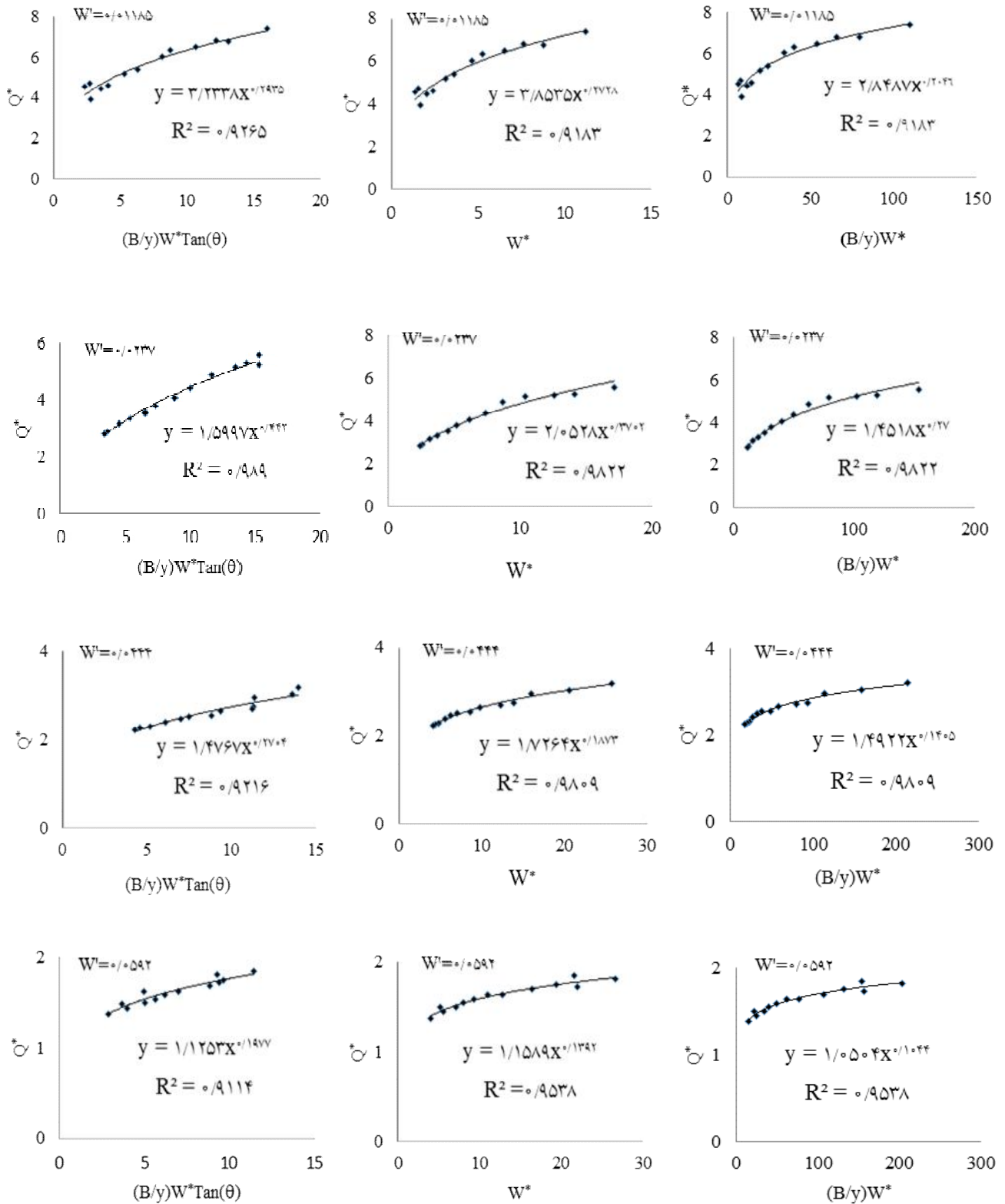
مختلف (رابطه ۱۳) در شکل‌های ۴ و ۵ و برای کانال با شیب جانبی 1/5 به‌دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله، ضرایب موجود در روابط ۵ تا ۷ (فرم‌های اول، دوم و سوم) در جدول ۲ ارائه شده‌اند.

$$W' = \frac{w}{\gamma B^3} \quad (13)$$

مقادیر حداکثر پارامترهای آماری RMSE، MARE و ME در بین این سه فرم دبی - اشل برای تخمین دبی جریان در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. مقدار حداکثر MARE در این تحقیق 0/225 درصد است. این پارامتر آماری در تحقیقات محمودی و فرهودی 3/34 درصد و در تحقیقات باروس و علی 20 تا 30 درصد است.

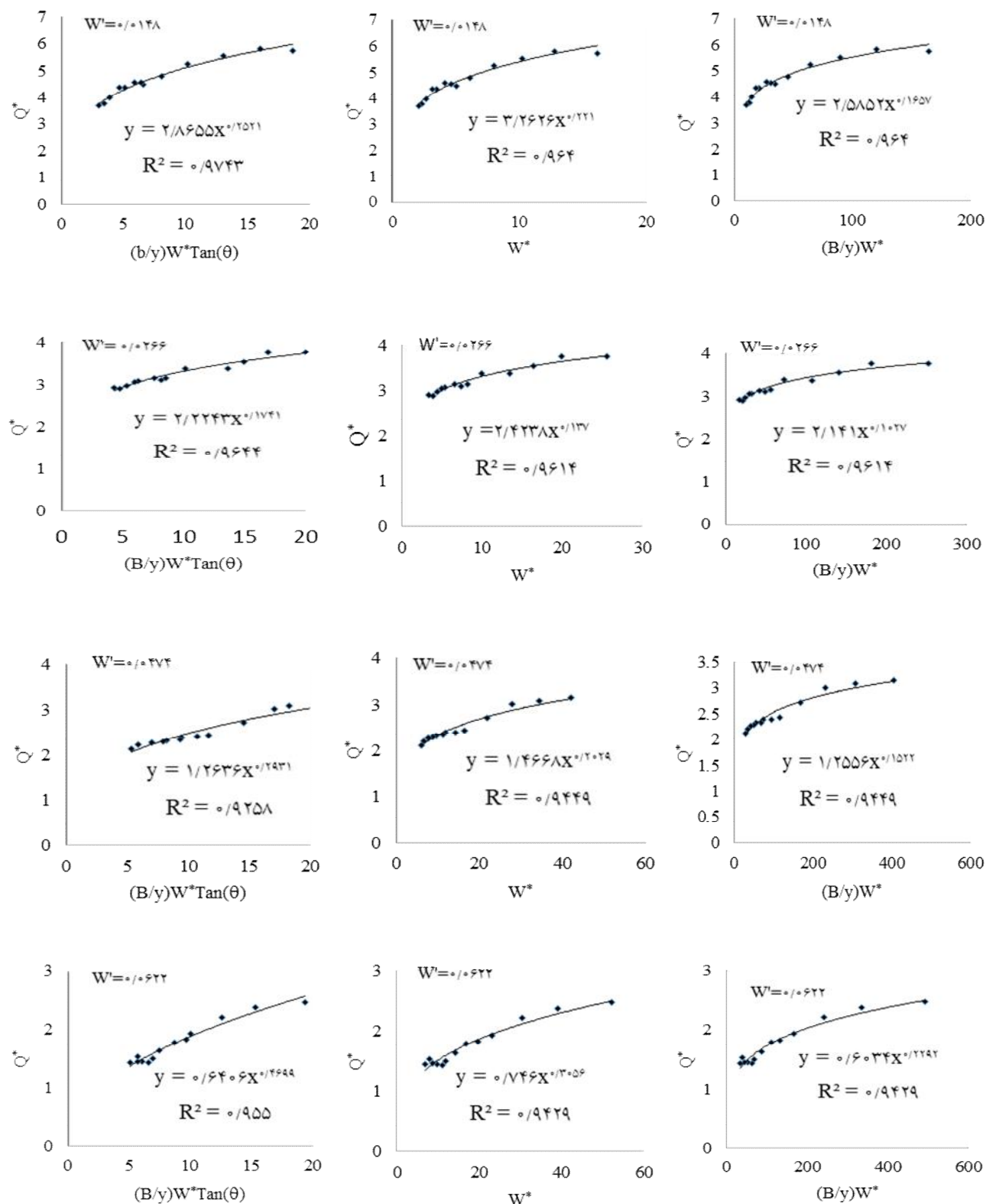
#### فرم چهارم رابطه دبی - اشل

این فرم رابطه دبی - اشل به فرم نظریه خودتشابه ناقص در نظر گرفته شد (رابطه ۸). بر اساس نتایج آزمایش‌ها، ضرایب موجود در این رابطه در جدول ۴ ارائه شده‌اند. با توجه به جدول ۴ ملاحظه می‌شود که ضرایب موجود در رابطه ۸ برای



شکل ۴. تغییرات  $Q^*$  با پارامترهای بی بعد مختلف در کانال با شیب جانبی  $z = 0.5$





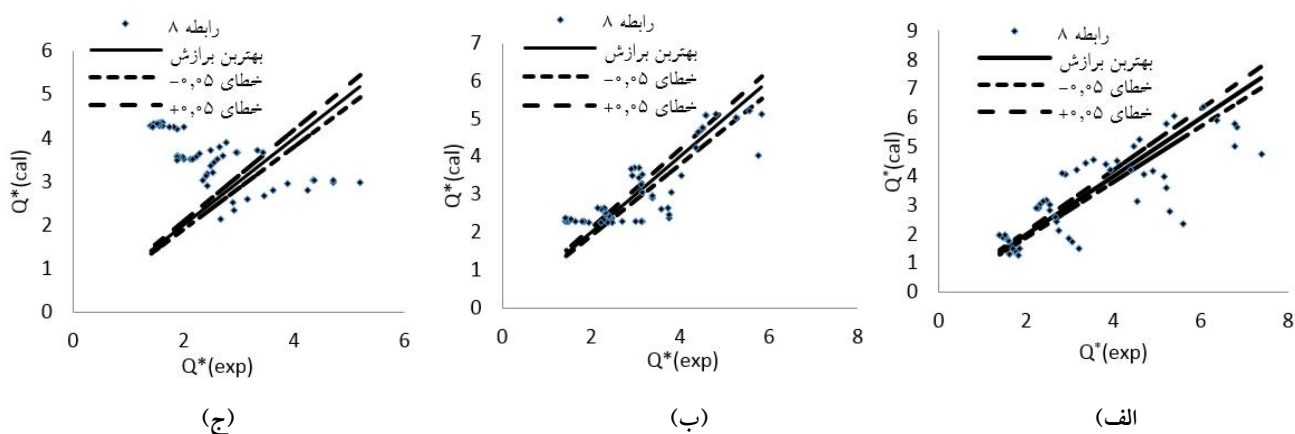
شکل ۵. تغییرات  $Q^*$  با پارامترهای بی‌بعد مختلف در کانال با شیب جانبی ۱

جدول ۳. مقادیر حداکثر پارامترهای آماری RMSE، MARE و ME در بین فرم‌های اول، دوم و سوم رابطه دبی-اشل

Max ME (m <sup>3</sup> /s)	Max MARE (%)	Max RMSE (m <sup>3</sup> /s)	W'	کانال
۰/۰۰۰۰۲۲	۰/۱۶۹	۰/۰۰۰۰۱	۰/۰۱۱۸۵	z=۰/۵
۰/۰۰۰۰۰۵۹	۰/۲۲۵	۰/۰۰۰۰۰۲۷	۰/۰۲۳۷	
۰/۰۰۰۰۰۳۷	۰/۰۴۰۵	۰/۰۰۰۰۰۲۲	۰/۰۴۴۴	
۰/۰۰۰۰۰۲۹	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰۰۰۱۵۲	۰/۰۵۹۲	
۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۳۸	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۱۴۸	z=۱
۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۲۳	۰/۰۰۰۰۰۱۴	۰/۰۲۶۶	
۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۶۲	۰/۰۰۰۰۰۲۲	۰/۰۴۷۴	
۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۱۲	۰/۰۰۰۰۰۲۷	۰/۰۶۲۲	
۰/۰۰۰۰۰۷۶	۰/۰۸۱	۰/۰۰۰۰۰۳۱	۰/۰۱۷۸	z=۱/۵
۰/۰۰۰۰۰۶	۰/۰۴۷	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۲۹۶	
۰/۰۰۰۰۰۳۵	۰/۰۳۷	۰/۰۰۰۰۰۱۵	۰/۰۵۰۳	
۰/۰۰۰۰۰۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰۰۰۱۲	۰/۰۶۵۲	

جدول ۴. مقادیر ضرایب موجود در فرم چهارم رابطه دبی - اشل (رابطه ۸) در کانال‌های مورد بررسی

d	c	b	a	کانال
۱/۱۴۵	-۰/۶۱۸	۲/۵۲	۱/۵۹۳	z=۰/۵
۲/۲۷۷	-۷/۲۹	۹/۲۶۷	۰/۶۴۷	z=۱
-۴۵۹۳/۰۲۱	-۰/۰۰۱	۲/۱۱۹	۴۵۹۲/۰۹۱	z=۱/۵



شکل ۶. مقایسه دبی‌های بی‌بعد محاسبه شده توسط فرم چهارم رابطه دبی - اشل (رابطه ۸) و آزمایشگاهی:

الف) کانال با شیب جانبی z=۰/۵، ب) کانال با شیب جانبی z=۱، ج) کانال با شیب جانبی z=۱/۵

جدول ۵. مقادیر ضرایب موجود در فرم پنجم رابطه دبی - اشل (رابطه ۹) در کانال‌های مورد بررسی

کانال	a	b	c	d
$z=0/5$	۱۲۷۱۴/۹۲۱	۰/۰۰	-۱۲۷۱۴/۴	۰/۰۰
$z=1$	۶۲۴۷/۵۹۵	۰/۰۰	-۶۲۴۷/۵۷۶	۰/۰۰
$z=1/5$	۶۸۲۲/۲۵۹	۰/۰۰	۶۸۲۱/۲۸۴	۰/۰۰

استفاده کرد که متغیرهای در نظر گرفته شده در محدوده داده‌های آزمایشگاهی در این تحقیق باشد. در محدوده داده‌های آزمایشگاهی می‌توان از درون‌یابی استفاده کرد اما بهتر است از برون‌یابی استفاده نشود. رابطه دبی - اشل به فرم چهارم و پنجم، برای تخمین دبی مناسب نیست. برای پژوهش‌های بعدی پیشنهاد می‌شود از کانال با شیب‌های جانبی دیگر و دریچه‌هایی با وزن‌های متنوع‌تر استفاده شود.

رابطه دبی - اشل بررسی شد. با نصب دریچه آویزان در انتهای کانال دوزنقه‌ای با شیب جانبی معین، با استفاده از فرم‌های اول، دوم و سوم رابطه دبی - اشل، دبی جریان را می‌توان با اطمینان به دست آورد (در صورتی که در آزمایشگاه آزمایش‌های مربوطه را روی دریچه و کانال مورد نظر انجام داده و ضرایب موجود در رابطه فرم‌های اول، دوم و سوم را به دست آورد). از ضرایب به دست آمده در این تحقیق زمانی می‌توان

#### منابع مورد استفاده

- Burrows, R., G. G. Ockleston and K. H. M. Ali. 1997. Flow estimation from flap-gate monitoring. *Journal of Institution of Water and Environmental Management (U.K.)* 11(5): 346-356.
- Chuan Chan, H., B. Ruei Ke, S. Yi Jhan and Y. Cheng Chen. 2014. Experimental study on hydraulic characteristics of flap gate under various flow conditions. *Journal of Taiwan Agricultural Engineering* 60(2): 41-52.
- Ferro V. 2000. Simultaneous flow over and under agate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126(3): 190-193.
- Litrico X., G. Belaud, J. P. Baume and R. B. Jose. 2005. Hydraulic modeling of an automatic upstream water-level control gate. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131(2): 176-189.
- Mahmoudi, B. and J. Farhoudi. 2018. 'Experimental studies of flow from flap gate in circular open channel at free flow condition. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 49(1): 159-170. (In Farsi).
- Monaem, M. J. and Gh. Shirin Zadeh. 2001. Design and study of hydraulic pendant structures for measuring. Dubai, 2<sup>nd</sup> International Conference on Hydraulic Structures, Vol. 2. (In Farsi).
- Raemy F. and W. H. Hager. 1998. Hydraulic level control by hinged flap gate. Proc. Inst. Civil Eng. *Water Maritime and Energy*, 130: 95-103.
- Replogle, J. A. and B. T. Wahlin. 2003. head loss characteristics of flap Gates at the ends of drainpipes. *American Society of Agricultural Engineers* 46(4): 1077-1084.
- Vatankhah, A. R. and S. M. Easa. 2011. Explicit solutions for critical and normal depths in channels with different shapes. *Flow Measurement and Instrumentation* 22: 43-49.

## Investigation of the Hydraulic Characteristics of Flap Gates at the End of Trapezoidal Channels

A. Moghtaderi and E. Valizadegan\*<sup>1</sup>

(Received: July 18-2020 ; Accepted: October 4-2020)

### Abstract

In this study, the hydraulic characteristics of the flap gates are installed at the end of the trapezoidal channels were investigated by laboratory study. In the physical model, three trapezoidal channels and four gates with different weights were used (12 gates for three channels). Based on several experiments, equations for estimating of flow rate for each side slope (each channel) were developed using dimensional analysis. In this research, five forms of discharge-stage relationship were used to obtain relationships for each side slop to estimate flow rate, separately. The results show that none of the discharge-stage relationships forms as a single relationship for all flap gates in a certain channel are suitable for estimating discharge. But the first, second, and third forms of the discharge-stage relationship are very suitable for estimating the flow rate in a certain channel for a certain flap gate. In other words, for each gate with a specific weight, a separate (unique) relationship is obtained to estimate the flow rate in the form of the first to the third discharge-stage relationship in a certain channel. To estimate of flow rate by using the first form of the discharge-stage relationship, the maximum values of statistical parameters of RMSE, ME, and MARE, among all three channels, are 0.0001 m<sup>3</sup>/s, 0.00022 m<sup>3</sup>/s, and 0.22 percent, respectively. The values of all the above statistical parameters for the first, second, and third forms of the discharge-stage relationship are presented in the article.

**Keywords:** Flap gates, Trapezoidal channel, Flow control, Flow measurement

---

1. Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Technical and Engineering, Islamic Azad University, Khoy Branch, Khoy, Iran.  
Corresponding author, Email: a\_moghtaderi@yahoo.com