

## مدلی نیمه تحلیلی برای جریان ترکیبی سرریز-دریچه در شرایط مختلف هندسی

جمال محمد ولی سامانی<sup>۱\*</sup>، مهدی مظاهری<sup>۲</sup>، محمدرضا کدیور<sup>۳</sup>

۱- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکترای سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

\* تهران، صندوق پستی ۳۳۶-۱۴۱۱۵

samani\_j@modares.ac.ir

**چکیده-** استفاده از سازه‌ای ترکیبی با نام سرریز-دریچه، مشکل رسوب‌گذاری پشت سرریز در شبکه‌های آبیاری، آب و فاضلاب را کاهش داده و امکان اندازه‌گیری ساده‌تر و دقیق‌تر را فراهم می‌سازد. سیستم متمرکز سرریز-دریچه امکان عبور جریان را از پایین و بالای مانع افقی به‌طور همزمان فراهم می‌سازد و مواد قابل ترسیب را در محل پشت دریچه به‌صورت زیرگذر و مواد شناور را به‌صورت روگذر از سرریز عبور می‌دهد. در این پژوهش، مدل نیمه‌تحلیلی جدیدی برای تعیین رابطه دبی-اشل در سازه‌های مرکب از سرریز و دریچه با هندسه‌های مختلف در حالت‌های نیمه‌مستغرق و تمام‌مستغرق ارائه شده است. از آنجا که هندسه این سازه‌ها، فشردگی جانبی دارد، توزیع سرعت در مقطع عرضی به‌صورت سه‌بعدی و غیریکنواخت است. بنابراین برای تصحیح سرعت به‌صورت یک‌بعدی باید از ضریب‌های تصحیح انرژی و مومنتم استفاده شود؛ در این تحقیق این ضریب‌ها به‌روش بهینه‌سازی محاسبه می‌شود. برای به‌دست آوردن رابطه دبی-اشل در حالت نیمه‌مستغرق که دریچه مستغرق و سرریز آزاد است از روابط پیوستگی، انرژی، مومنتم و حرکت پرتابی و برای حالت جریان تمام‌مستغرق نیز -که دریچه و سرریز هر دو مستغرق هستند- از روابط پیوستگی، انرژی و مومنتم استفاده شده است. برای ارزیابی مدل ریاضی ارائه شده، مدل فیزیکی سازه در آزمایشگاه مطالعه شد. نتایج به‌دست آمده دقت مناسب پیش‌بینی مدل را نشان می‌دهد.

**کلیدواژگان:** سرریز-دریچه، جریان همزمان، رابطه دبی-اشل، ضریب تصحیح انرژی، ضریب تصحیح مومنتم، جریان نیمه‌مستغرق، جریان تمام‌مستغرق.

## ۱- مقدمه

در مناطقی که سرریز یا دریچه در مسیر رودخانه یا کانال باز با بستر رسوبی قرار دارد، آب جاری در مسیر کانال همواره دارای بار رسوبی بستر و معلق و همچنین مواد شناور اضافی (آشغالها) است. تجمع مواد رسوبی در بالادست این سازه‌های هیدرولیکی، یکی از معضلات اندازه‌گیری دبی جریان در شبکه‌های آبیاری و زهکشی و همچنین مسیرهای فاضلاب است. برای کاهش مشکل ته‌نشینی و رسوب‌گذاری و کم کردن مشکلات این سازه‌ها و استفاده حداکثر از آنها، به‌کارگیری سازه هیدرولیکی متمرکز سرریز-دریچه - که با موجود بودن اطلاعات در هر مقطع، بتواند تخمین مناسبی از دبی را ارائه کند، بهترین گزینه به نظر می‌رسد. همچنین با استفاده از این نوع سازه احتمال خلأزایی و مسائل مربوط نیز کمتر می‌شود. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در زمینه استفاده از جریان ترکیبی روی سرریز و دریچه تحتانی انجام شده است. اولین ایده جریان همزمان در سال ۱۹۸۴ از سوی Majcherek مطرح شد. نجم و همکاران در سال ۲۰۰۲ موضوع جریان ترکیبی را در حالت جریان سرریز آزاد مورد بررسی قرار دادند. نجم در سال ۱۹۹۵ مشخصات جریان ترکیبی بالای سرریز با فشردگی و دریچه فشرده در حالت مستطیلی با فشردگی غیر یکنواخت را تحلیل کرد. اساس کار در این پژوهش، تحلیل ابعادی بود و چنین نتیجه‌گیری شد که این سیستم ترکیبی می‌تواند تا حد زیادی بر مشکل رسوب‌گذاری چیره شود. نجم در سال ۱۹۹۶ پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مؤثر بر جریان ترکیبی را بررسی و برای جریان سرریز مثلثی روی دریچه مستطیلی فشرده معادلاتی را استخراج کرد. او در این معادلات از ضریب دبی ترکیبی استفاده کرد تا اثر پارامترهای هندسی و

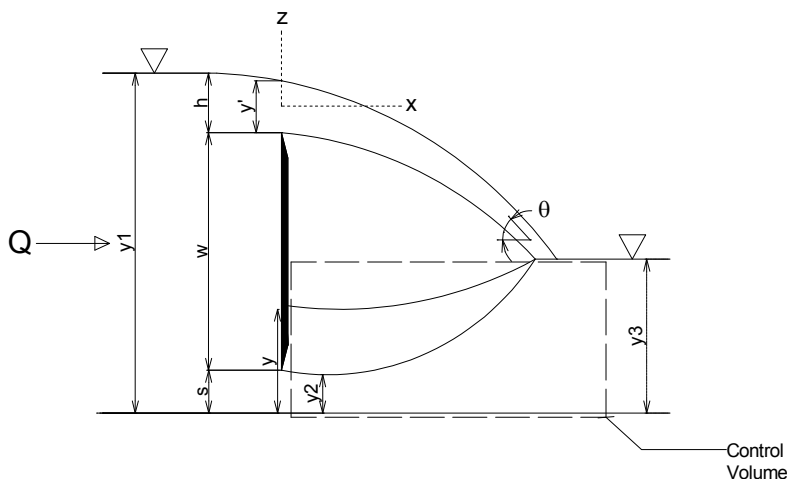
هیدرولیکی به‌طور همزمان در نظر گرفته شود. الصیاد و همکاران در سال ۱۹۹۵ برای جریان همزمان از زیر و روی دریچه در دبی کم، برای حالت آزاد در کانال‌های آبیاری در حالت‌های سرریز بالا مثلثی و دریچه مستطیلی و به‌عکس، نتیجه گرفتند که ترکیب سرریز بالا مثلثی و دریچه مستطیلی کارایی بیشتری نسبت به حالت عکس آن دارد. الحمید در سال ۲۰۰۰ تحقیقی را در زمینه جریان ترکیبی در بالای سرریز مثلثی و در پایین دریچه مستطیلی فشرده در حالت‌های آزاد و مستغرق با استفاده از تحلیل ابعادی و برازش غیرخطی انجام داد. فرو در سال ۲۰۰۰ با استفاده از تحلیل ابعادی بر اساس تئوری پای باکینگهام، یک رابطه دبی-اشل برای جریان همزمان بالا و پایین دریچه لبه پهن مستطیلی به‌دست آورد. نجم و همکاران در سال ۲۰۰۲ جریان همزمان از روی سرریز و زیر دریچه با فشردگی‌های مساوی را مطالعه کردند. آنان اثر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی و همچنین اثر لزجت و کشش سطحی را بررسی کرده و یک معادله بی‌بعد برای محاسبه دبی استخراج کردند. بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌های پیشین به‌جز کار سامانی و مظاهری در سال ۲۰۰۹ بر پایه تحلیل ابعادی و روابط تجربی بوده است. در پژوهش سامانی و مظاهری، با استفاده از معادلات انرژی و مومنتم و مبانی دانش هیدرولیکی مربوط به سرریز و دریچه، رابطه دبی-اشل برای این سازه ترکیبی به‌دست آمده است. در پژوهش حاضر روش ارائه شده، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی برای حالتی که سرریز و دریچه مستطیلی هستند، ارزیابی شد. در این پژوهش و در ادامه کار سامانی و مظاهری (۲۰۰۹) و با توسعه دادن آن، مدل جدیدی برای تخمین رابطه دبی-اشل برای سازه مرکب از سرریز و دریچه در شرایط مختلف هندسی و جریان‌های نیمه‌مستغرق و

باشد تا جایی که آب به لبه سرریز برسد. در این حالت جریان به صورت پرتابی است. در این حالت عمق پایاب، عمق بالادست را تغییر می‌دهد. در شکل ۲ که حالت تمام‌مستغرق خوانده می‌شود، سرریز و دریچه هر دو مستغرق هستند. در این شرایط در محل زیر جریان عبوری از سرریز، هوا وجود ندارد و جریان عبوری از سرریز به صورت پرتابی نیست. در این حالت علاوه بر جریان عبوری از دریچه، جریان از روی سرریز نیز بر روی ارتفاع آب پشت دریچه اثر می‌گذارد.

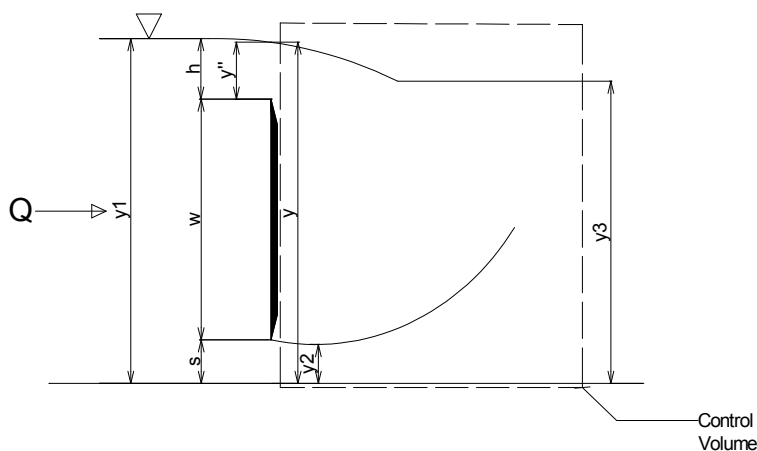
تمام‌مستغرق و با استفاده از معادلات اصلی سیالات یعنی انرژی، مومنتم، پیوستگی و حرکت پرتابه‌ای، ارائه می‌شود.

## ۲- مبانی نظری

شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب طرحواره‌ای را از دو حالت جریان نیمه‌مستغرق و تمام‌مستغرق نشان می‌دهد. در شکل ۱ که حالت نیمه‌مستغرق خوانده می‌شود، سرریز آزاد و دریچه مستغرق است. یعنی از جایی بعد از دریچه، که دریچه را به‌طور کامل مستغرق کند و آب بالاتر از دریچه



شکل ۱ طرحواره جریان همزمان از روی سرریز و زیر دریچه در حالت نیمه‌مستغرق



شکل ۲ طرحواره جریان همزمان از روی سرریز و زیر دریچه در حالت تمام‌مستغرق

که در آن  $Q_{ws}$  دبی سرریز در حالت تمام مستغرق و  $y_3$  عمق پایاب است. با صرف نظر کردن از افت انرژی بین بالادست و پایین دست دریچه، معادله انرژی کل در واحد زمان بین بالادست و پایین دست سازه ترکیبی، برای حالت نیمه مستغرق به صورت زیر نوشته می شود:

$$y_1 + \frac{Q^2}{2g(by_1)^2} = \frac{Q_g}{Q} y + \alpha \frac{Q_g}{Q} \frac{Q_g^2}{2g(by_2)^2} + \quad (7)$$

$\frac{Q_w}{2Q} y' + \frac{Q_w}{Q} \frac{Q_w^2}{2g(by')^2}$   
که در آن  $b$  عرض فلوم و  $y$  عمق آب بعد از دریچه است. لازم است ذکر شود که این رابطه و روابط مشابه دیگر، به دلیل دو شعبه شدن جریان بر اساس انرژی کل و به صورت وزنی نسبت به دبی به کار برده شده است. نوشتن سایر عبارات در این معادلات، با صرف نظر از وزن آنها (دبی مربوط به دبی کل)، مانند حالت معمولی است.  $y_2$  نشان داده شده روی شکل برابر است با:

$$y_2 = C_e S \quad (8)$$

که در آن  $C_e$  ضریب فشردگی دریچه و برابر  $0/61$  است.  $y'$  عمق بالای تاج سرریز بر اساس رابطه وال و همکاران (۲۰۰۸) برای سرریزهای مستطیلی و مثلثی به ترتیب از رابطه های (۹) و (۱۰) به دست می آید:

$$y' = (2/3)h \quad (9)$$

$$y' = (4/5)h \quad (10)$$

در رابطه (۷) ضریب تصحیح انرژی است که به علت فشردگی های جانبی سازه ها، سه بعدی بودن جریان و در نتیجه غیریکواخت بودن توزیع سرعت در معادله (۷) اعمال شده است. از آنجا که رابطه ای کلی برای ضریب اصلاحی توزیع سرعت در مجاری روباز در دست نیست، لذا مبنای نظری دقیقی برای تعیین این ضریب وجود ندارد. این ضریب به طور کلی تحت تأثیر عوامل مؤثر بر توزیع سرعت در مجاری روباز است. لازم است ذکر شود

برای به دست آوردن تغییر عمق بالادست یا به بیان بهتر رابطه دبی-اشل در بالادست، از روابط اساسی دانش هیدرولیک استفاده می شود. دبی کل عبوری از سیستم از معادله پیوستگی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Q = Q_w + Q_g \quad (1)$$

که در آن  $Q$ ،  $Q_g$  و  $Q_w$  به ترتیب برابر با دبی کل، دبی دریچه و دبی سرریز است.

برای حالت نیمه مستغرق، دبی سرریز مستطیلی لبه تیز با فشردگی جانبی از رابطه (۲) و دبی سرریز مثلثی لبه تیز با زاویه  $90^\circ$  درجه از رابطه (۳) محاسبه می شود (Villemonete et al., 1998):

$$Q_w = C(B - 0.2h)h^{1.5} \quad (2)$$

$$Q_w = (8/15)C\sqrt{2gh}^{2.5} \quad (3)$$

که در آن  $B$ ،  $h$ ،  $g$  و  $C$  به ترتیب عرض مؤثر سرریز، ارتفاع آب روی سرریز، شتاب ثقل و ضریب دبی سرریز است. ضریب دبی به روش بهینه سازی و با استفاده از داده های اندازه گیری شده برابر  $1/78$  برای سرریز مستطیلی و  $0/578$  برای سرریز مثلثی  $90^\circ$  درجه به دست آمد. ارتفاع آب روی سرریز برابر است با:

$$h = y_1 - (S + W) \quad (4)$$

که در آن  $y_1$ ،  $S$  و  $W$  با توجه به شکل ۱، به ترتیب ارتفاع آب در بالادست، بازشدگی دریچه و ارتفاع دریچه است. برای دبی سرریزها در حالت تمام مستغرق ویلمونت و همکاران (۱۹۹۸) رابطه (۵) را برای نوع مستطیلی و رابطه (۶) را برای نوع مثلثی ارائه کردند:

$$Q_{ws} = Q_w \left[ 1 - \left( \frac{y_3 - (S + W)}{h} \right)^{1.5} \right]^{0.385} \quad (5)$$

$$Q_{ws} = Q_w \left[ 1 - \left( \frac{y_3 - (S + W)}{h} \right)^{2.5} \right]^{0.385} \quad (6)$$

$$z = x \tan \lambda - \frac{x^2}{4k \left( V_w^2 / 2g \right) \cos^2 \lambda} \quad (15)$$

در رابطه (۱۵)،  $z$  و  $x$  مختصات حرکت پرتابی جت،  $\lambda$  زاویه پرتاب شدن جریان،  $k$  ضریب معادله پرتابی که برای شرایط پرتاب بدون اصطکاک برابر یک است، اما در اینجا با توجه به مقاومت هوا و تلاطم جریان و نیز شرایط یکسان با کار وال و همکاران مقدار آن برابر ۰/۸۵ در نظر گرفته می‌شود.  $V_w$  سرعت جریان در نقطه شروع پرتاب یا سرعت بالای سرریز است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_w = \frac{Q_w}{by'} \quad (16)$$

با توجه به اینکه برای سرریز، زاویه پرتاب برابر صفر بوده و جریان به صورت افقی پرتاب می‌شود، رابطه (۱۵) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$z = -\frac{x^2}{3.4 \left( V_w^2 / 2g \right)} \quad (17)$$

ارتفاع حرکت پرتابی جت برابر است با:

$$-z_0 = \left( \frac{y'}{2} + W + S \right) - y_3 \quad (18)$$

با مشتق‌گیری از رابطه (۱۷) نسبت به  $x$  می‌توان  $\theta$  را به صورت زیر به دست آورد:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \left. \frac{dz}{dx} \right|_{x=x_0} \right) = \tan^{-1} \frac{2x_0}{3.4 \left( V_w^2 / 2g \right)} \quad (19)$$

برای به دست آوردن سطح مقطع جت ( $A_j$ )، در مقطع تماس با سطح پایاب، معادله انرژی بین سرریز و نقطه تماس را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$k \left( \frac{y'}{2} + \frac{Q_w^2}{2g (by')^2} + z_0 \right) = \frac{Q_w^2}{2g A_j^2} \quad (20)$$

برای به دست آوردن رابطه دبی-اشل باید رابطه‌های (۷) و (۱۳) را برای حالت نیمه‌مستغرق و رابطه‌های (۱۱) و

که با توجه به اینکه می‌توان توزیع سرعت را در جریان خروجی از سرریز تقریباً یکنواخت در نظر گرفت، در نتیجه ضریب تصحیح انرژی فقط برای جریان خروجی از دریچه در نظر گرفته می‌شود. در حالت تمام‌مستغرق معادله انرژی کل در واحد زمان بین بالادست و پایین‌دست سازه ترکیبی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$y_1 + \frac{Q^2}{2g (by_1)^2} = y + \alpha \frac{Q_g}{Q} \frac{Q_g^2}{2g (by_2)^2} + \frac{Q_{ws}}{Q} \frac{Q_{ws}^2}{2g (by'')^2} \quad (11)$$

$y''$  در شکل ۲ برابر است با:

$$y'' = y - (W + S) \quad (12)$$

برای به دست آوردن رابطه دبی-اشل از رابطه‌های (۱) تا (۱۲) استفاده می‌شود که در این معادلات فقط  $y$  مجهول است. با انتخاب حجم کنترل بین پایین‌دست دریچه و پایاب که در شکل‌ها نشان داده شده و با نوشتن معادله مومنتم، در حالت نیمه‌مستغرق  $y$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{Q_w^2}{g A_j} \cos \theta + \frac{y}{2} (yb) + \beta \frac{Q_g^2}{g (by_2)} = \frac{y_3}{2} (by_3) + \frac{Q^2}{g (by_3)} \quad (13)$$

که در آن  $\theta$  زاویه میان برخورد جت با سطح آب که در شکل ۱ نشان داده شده،  $A_j$  سطح مقطع جت و  $\beta$  ضریب تصحیح مومنتم است. برای حالت تمام‌مستغرق معادله مومنتم به صورت زیر است:

$$\frac{Q_{ws}^2}{g (by'')} + \frac{y}{2} (by) + \beta \frac{Q_g^2}{g (by_2)} = \frac{y_3}{2} (by_3) + \frac{Q^2}{g (by_3)} \quad (14)$$

برای محاسبه مشخصات جت سرریز از رابطه وال و همکاران (۲۰۰۸) استفاده می‌شود که به صورت زیر است:

جدول ۱ ابعاد سازه‌های ترکیبی مورد آزمایش

حالت جریان	بازشدگی دریاچه (cm)	عرض فشرده سرریز-دریاچه (cm)	شکل سرریز-دریاچه
هر دو حالت جریان	۴	۱۶	مسطحی-
	۶	۱۸	مسطحی
	۶	۲۰	مثلثی-مثلثی
	۶	۱۴	
	۸	۱۸	مثلثی-
	۱۰	۲۰	
	۶	۱۲	مسطحی
	۶	۱۴	
۸	۲۰		

(۱۴) را برای حالت تمام مستغرق به طور همزمان حل کرد. برای حل این معادلات و معادلات وابسته، ضرایب  $\beta$  و  $\alpha$  را باید واسنجی کرد. لازم است ذکر شود که برای حل معادلات از روشهای بهینه‌سازی استفاده شد. البته به دلیل اینکه عوامل متعددی در این حالات بر ضرایب واسنجی شده تأثیر می‌گذارند، ممکن است مقدار واسنجی شده با مقدار حاصل از اندازه‌گیری مستقیم توزیع سرعت متفاوت باشد. به همین دلیل باید به تفاوت ضرایب واسنجی شده -که در برگیرنده تمامی عوامل مؤثر هستند- با حالتی که این ضرایب فقط ناشی از توزیع غیریکنواخت سرعت هستند، توجه شود.

### ۳- آزمایش‌ها

برای ارزیابی مدل ارائه شده و مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی، نُه مدل فیزیکی در آزمایشگاه ایجاد شد. دریاچه‌ها و سرریزها از جنس پلکسی‌گلاس در ابعاد مختلف و گشودگی‌های مختلف ساخته شد. که ابعاد سازه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است. آزمایش‌ها در فلوام آزمایشگاهی با طول، عرض و ارتفاع به ترتیب برابر ۱۰، ۰/۳ و ۰/۴۵ متر که دیوارهای آن شفاف بود، انجام شد. دبی به وسیله دبی‌سنج دیجیتال الکترومغناطیسی اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها برای دو حالت جریان نیمه‌مستغرق و تمام‌مستغرق انجام شد (در مجموع ۱۲۶ آزمایش). در این آزمایش‌ها دبی کل  $Q$ ، عمق بالادست  $h_1$  و عمق پایاب  $h_2$  اندازه‌گیری شد.

### ۴- واسنجی مدل

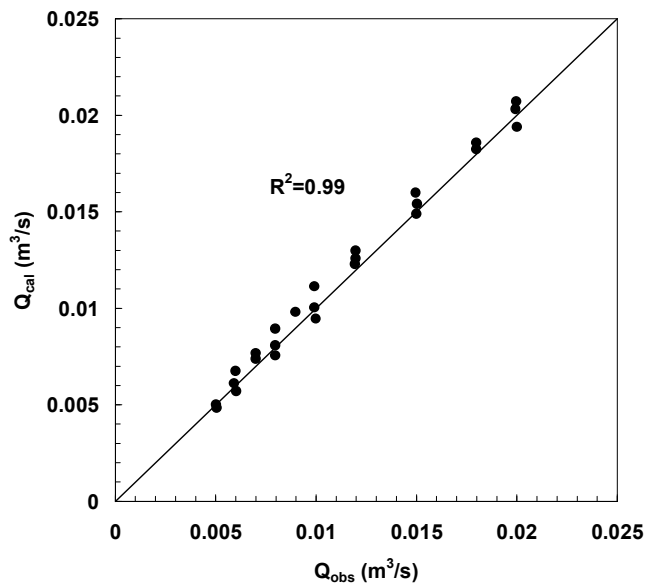
در این پژوهش ضرایب تصحیح انرژی و مومنت باید واسنجی شود که این کار بر اساس ۷۰ درصد از داده‌های آزمایشگاهی با استفاده از بهینه‌سازی، صورت گرفت. نتایج در جدول ۲ ارائه شده است.

### ۵- اعتبارسنجی مدل

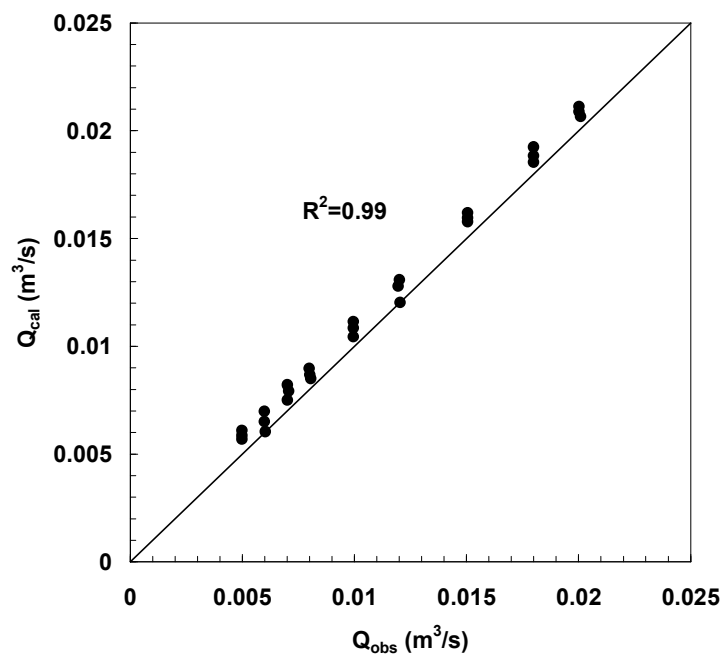
برای هر آزمایش مقادیر  $h_1$  و  $h_2$  وارد شده و دبی کل متناظر بر اساس مدل ریاضی ارائه شده محاسبه می‌شود. نتایج مقایسه دبی محاسباتی با دبی مشاهده شده در شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ نشان داده شده است. مقایسه نتایج دبی محاسبه شده با دبی مشاهده شده، دقت بالای مدل را در پیش‌بینی رابطه دبی-اشل نشان می‌دهد.

جدول ۲ محاسبه پارامترهای  $\alpha$  و  $\beta$  برای سازه‌ها و حالت‌های مختلف جریان

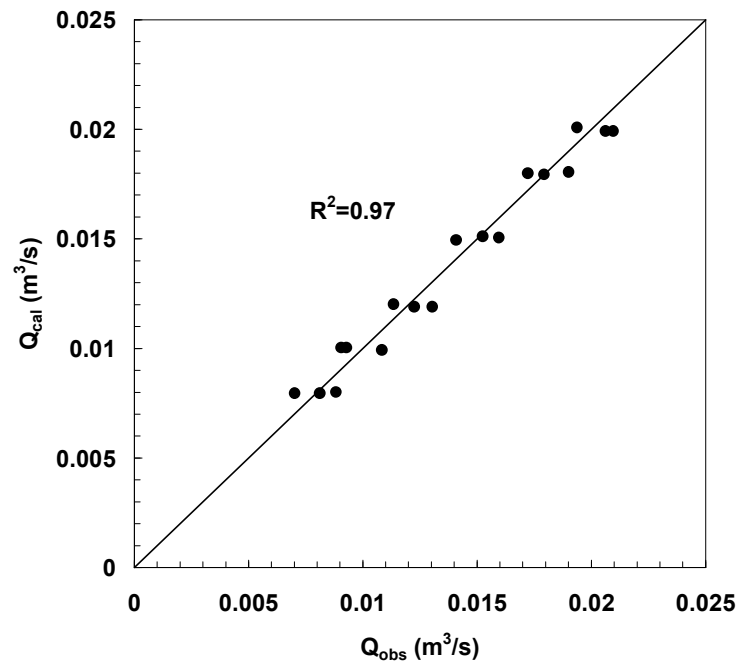
$\beta$	$\alpha$	بازشدگی دریاچه (cm)	عرض فشرده سرریز-دریاچه (cm)	حالت جریان	شکل سرریز-دریاچه
۱/۷۶	۳/۲۲	۴-۶	۱۶-۲۰	نیمه‌مستغرق	مسطحی-مسطحی
۲/۷۵	۶/۰۷	۶-۱۰	۱۴-۲۰		مثلثی-مثلثی
۱/۹	۳/۸۵	۶-۸	۱۲-۲۰		مثلثی-مسطحی
۱/۰۵	۱/۱۴	تمامی ابعاد	تمامی ابعاد	تمام‌مستغرق	تمامی شکل‌ها



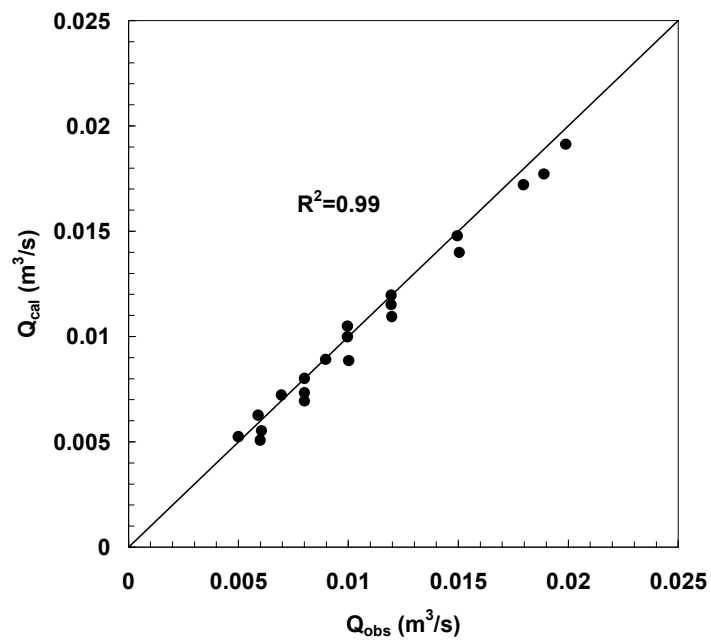
شکل ۳ مقایسه دبی محاسبه شده با دبی مشاهده شده برای سرریز و دریچه مستطیلی در حالت نیمه‌مستغرق



شکل ۴ مقایسه دبی محاسبه شده با دبی مشاهده شده برای سرریز و دریچه مثلثی در حالت نیمه‌مستغرق

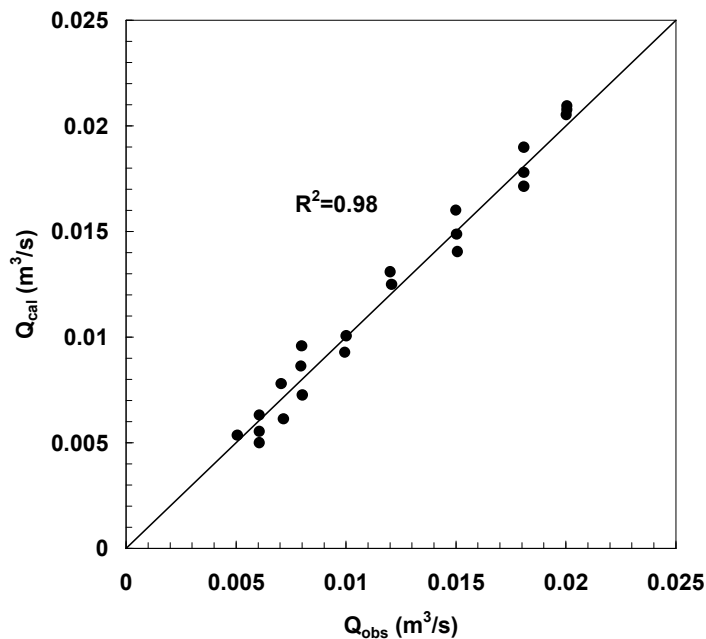


شکل ۵ مقایسه دبی محاسبه شده با دبی مشاهده شده برای سرریز مثلثی و دریچه مستطیلی در حالت نیمه مستغرق

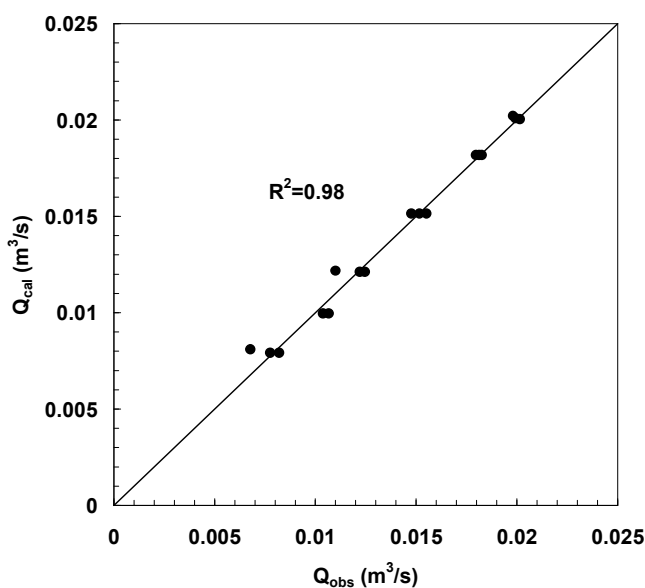


شکل ۶ مقایسه دبی محاسبه شده با دبی مشاهده شده برای سرریز و دریچه مستطیلی در حالت تمام مستغرق





شکل ۷ مقایسه دبی محاسبه شده با دبی مشاهده شده برای سرریز و دریچه مثلی در حالت تمام‌مستغرق



شکل ۸ مقایسه دبی محاسبه شده با دبی مشاهده شده برای سرریز مثلی و دریچه مستطیلی در حالت تمام‌مستغرق

### ۶- نتیجه گیری

برای هندسه‌های مختلف سرریز و دریچه بررسی شد. حالت‌های نیمه‌مستغرق (سرریز آزاد و دریچه مستغرق) و حالت تمام‌مستغرق (سرریز و دریچه هر دو مستغرق)

در این تحقیق دو حالت رفتار هیدرولیکی جریان ترکیبی از روی سرریز همزمان با جریان عبوری از زیر دریچه

$y_1$	ارتفاع آب در بالا دست	مطالعه شد. روش‌های گذشته بر تحلیل ابعادی مبتنی
$S$	مقدار گشودگی دریچه	بوده‌اند، اما در این پژوهش از روابط تحلیلی و پایه‌ای
$W$	طول دریچه	سیالات و هیدرولیک برای به دست آوردن رابطه دبی-اشل
$Q_{WS}$	دبی سرریز حالت تمام مستغرق	استفاده شد. از آنجا که سازه‌ها فشردگی دارند و جریان
$y_3$	عمق پایاب	سه‌بعدی است، به دلیل غیریکنواخت بودن توزیع سرعت
$b$	عرض فلوم	ضرایب تصحیح $\alpha$ و $\beta$ در معادلات انرژی و مومنتم
$y$	عمق آب بعد از دریچه	اعمال شده است. این ضرایب از طریق بهینه‌سازی محاسبه
$y'$	عمق بالای تاج سرریز	شده است. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، مقادیر
$k$	ضریب معادله پرتابی	$\alpha$ و $\beta$ برای جریان نیمه‌مستغرق، از حالت عادی
$\lambda$	زاویه پرتاب شدن جریان	بزرگتر است که این ناشی از اغتشاش‌های مربوط به
$A_j$	سطح مقطع جت	سه‌بعدی بودن جریان و غیریکنواختی توزیع سرعت
$C$	ضریب دبی	است. از آنجا که برای سرریز-دریچه مثلثی، سه‌بعدی
$C_c$	ضریب فشردگی دریچه	بودن جریان بسیار غالب است، ضریب $\alpha$ بسیار بزرگتر
$g$	شتاب ثقل	از حالت عادی است. البته لازم است ذکر شود که در
$v_w$	سرعت بالای سرریز	پژوهش‌های دیگر مقادیر بالاتر از دو برای $\alpha$ در
$x$	مختصات حرکت پرتابی جت	جریان‌های حلزونی-مارپیچ و کانال‌های انشعابی به ترتیب
$z$	مختصات حرکت پرتابی جت	برابر $7/4$ و $3/3$ و نیز برای کانال‌های مرکب - که توزیع
$\alpha$	ضریب تصحیح انرژی	سرعت در سیلابدشت‌ها و کانال اصلی بسیار متفاوت
$\beta$	ضریب تصحیح مومنتم	است - گزارش شده است ( O'Brien and Johnson, 1934; )
$\theta$	زاویه میان برخورد جت با سطح آب	Galip et al., 2009). برای جریان تمام‌مستغرق این دو

ضریب بسیار به یک نزدیک است، که این ناشی از توزیع یکنواخت سرعت و یک بعدی بودن جریان در این حالت است.

## ۸- منابع

Alhamid, A. A. (1999). "Analysis and formulation of flow through combined V-notch-gate device." J. Hydraul. Res., 37(5), pp. 697-705.

Ferro V. (2000). "Simultaneous flow over and under a gate." J. Irrig. and Drain. Engrg., 126(3), pp. 190-193.

Galip S., Mehmet A., Hatice C., Murat C. and Recep Y., (2009) "Experimental investigation of kinetic energy and momentum correction coefficients in open channels" Scientific Research and Essay Vol. 4 (5), pp. 473-478.

Majcherek H. (1984). "Submerged discharge relations of logarithmic weirs." J. Hydraul. Eng., 110(6), pp. 840-846.

## ۷- فهرست علائم

$Q$	دبی کل
$Q_g$	دبی دریچه
$Q_w$	دبی سرریز
$B$	عرض موثر سرریز
$h$	ارتفاع آب روی سرریز

- O' Brien, M.P. and Johnson, J. W.(1934): "Velocity Head Connections for Hydraulic Flows". Engineering News Record. Vol. 113, No. 7, pp. 214-216.
- Samani, J. M. V. and Mazaheri, M. (2009). "Combined Flow over weir and under gate", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 135, Issue 3, p. 224-227.
- Villemonte, J. R, Chatterjee, C., Singh, R., Kar, S. K. and Panda, S. N. (1998). "Flow characteristics of chimney weir under submergence" J. Irrig. and Drain. Engrg., 124(2), pp. 96-101.
- Wahl, T. L., Frizell K. H. and Cohen E. A. (2008). "Computing the trajectory of free jets", J. of Hydraul. Eng., 134(2), pp. 256-260.
- Negm, A. M. (1995). "Characteristics of combined flow over weirs and under gates with unequal contractions" In advances in hydrosience and engineering, Tsinghua University Press, Beijing, China, pp. 285-292.
- Negm, A. M. (1996). "Discharge prediction model for simultaneous underflow-overflow." 6th Int. Symp. on flow modeling and turbulence measurements, Florida, USA, September, pp. 665-670.
- Negm, A. M., Al-Brahim, A. M. and Al-Hamid A. A. (2002). "Combined-free flow over weirs and below gates." J. Hydraul. Res., 40(3), pp. 359-365.