

# بررسی تأثیر ورودی گلبرگی شکل بر هیدرولیک جریان آزاد در سرریزهای مدور قائم

محمد جواد معجدمی<sup>۱</sup> و عبدالرضا کبیری سامانی<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۵/۳/۱۹]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۴/۷/۲۳]

akabiri@cc.iut.ac.ir

**چکیده** - یکی از انواع بسیار مهم و کاربردی سرریزها، سرریز مدور قائم با فرم‌های مختلف ورودی مانند نیلوفری یا لاله‌ای است. یکی از راه‌های افزایش ظرفیت تخلیه سرریز مدور قائم، اصلاح شکل ورودی به صورت گلبرگی شکل است. با استفاده از این سازه می‌توان طول تاج سرریز را افزایش داد. در رژیم جریان آزاد، سرریز گلبرگی با عمل‌کرد به‌صورت سرریز جانبی در مقایسه با انواع دیگر شکل‌های ورودی سرریز مدور، در هد یکسان دبی بیشتری را از خود عبور می‌دهد. با وجود مطالعات و آزمایش‌های انجام شده در سال‌های اخیر هنوز روابط جامعی برای تعیین ضریب دبی عبوری از این سرریزها در حالت آزاد ارائه نشده است. در این پژوهش به مطالعه آزمایشگاهی تأثیر ورودی گلبرگی شکل بر هیدرولیک جریان در سرریزهای مدور قائم پرداخته می‌شود. با انجام آنالیز ابعادی پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر هیدرولیک جریان تعیین شده و در ادامه به مدل‌سازی آزمایشگاهی جریان در اطراف سرریز مدور قائم با ورودی مورد اشاره پرداخته شده است. آزمایش‌ها برای بازه وسیعی از پارامترهای هندسی و هیدرولیکی انجام شد. نتایج نشان داد که در نسبت طول سرریز به قطر شفت برابر با  $۳/۷۵$  و نسبت ارتفاع سرریز به قطر شفت معادل ۱ بیشترین ضریب دبی جریان عبوری از ورودی‌های گلبرگی شکل در حالت آزاد حاصل می‌شود. کاربرد ورودی گلبرگی شکل در سرریز مدور قائم کاهش ۶۰ درصدی ارتفاع سطح آب را نسبت به سرریز مدور قائم بدون ورودی به‌همراه دارد. با استفاده از نتایج به‌دست آمده و بهره‌گیری از روش‌های درونیابی غیرخطی معادلاتی برای تعیین ضریب دبی جریان و تعیین آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای برای سرریز مدور قائم با ورودی گلبرگی شکل ارائه می‌شود.

**واژگان کلیدی:** آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای، جریان آزاد، سرریز گلبرگی، ضریب دبی و مدل آزمایشگاهی.

## ۱- مقدمه

قائم درآمده و در نقطه‌ای به نام تبدیل با سفره‌ی ریزشی برخورد می‌کند. در این حالت جریان به صورت روزنه‌ای است. حد بالایی تراز آب روی سرریز مدور قائم و نیلوفری "آستانه استغراق روزنه‌ای" نامیده می‌شود. با افزایش هد آب در اثر افزایش دبی، نقطه‌ی تبدیل مستغرق می‌شود و شفت قائم و تونل انحرافی به صورت تحت فشار عمل می‌کنند. مطابق نظریه واگنر اگر  $h/D \leq ۰/۲۲۵$  ارتفاع آب روی سرریز از روی تاج مدور و  $D$  قطر شفت است) سرریز

هیدرولیک جریان در سرریز مدور قائم به سه دسته آزاد، روزنه‌ای و تحت فشار تقسیم می‌شود. برای ارتفاع‌های کوچک، جریان آب از روی سرریزهای نیلوفری به وسیله‌ی تاج سرریز کنترل می‌شود. در این صورت تبدیل قائم در پایین تاج، نیمه پر است و جریان به دیواره‌های شفت قائم می‌چسبد. این نوع جریان، جریان آزاد (ریزشی) نامیده می‌شود. با افزایش دبی نقطه‌ی تبدیل و قسمت فوقانی برآمدگی صعود می‌کند. در این صورت جریان ریزشی به صورت یک جت

طول تاج سرریز را افزایش داد. ورودی گلبرگی شکل را می-توان برای سرریز مدور قائم انواع سدها به کار برد. احداث این نوع سرریز به منظور افزایش ظرفیت ذخیره، هزینه‌ی بالایی را به طرح تحمیل نمی‌کند. از جمله موارد کاربرد این نوع ورودی می‌توان به سرریز سد کچوت در ارمنستان (شکل ۱) اشاره کرد [۶].

شکل (۱) سرریز گلبرگی سد کچوت در ارمنستان [۶]

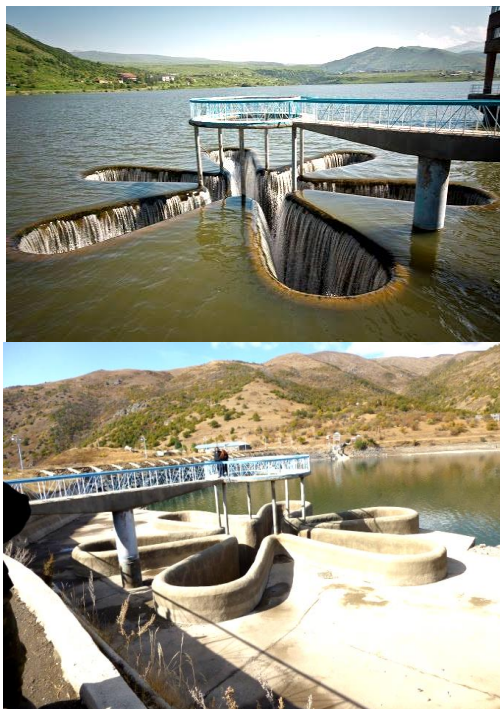


Figure (1) Daisy-shape (marguerite) spillway in Kechut dam, Armenia

در رابطه با سرریز گلبرگی شکل مطالعات بسیار اندکی انجام شده است. که از آن جمله می‌توان به مطالعه‌ی انجام شده به وسیله‌ی لوئیزل<sup>۴</sup> و همکاران اشاره کرد [۷]. ایشان به بررسی مدل فیزیکی ۱:۵۰ سرریز گلبرگی شکل سد Causse Corrézien پرداختند. اشلایس<sup>۵</sup> [۸] با بررسی انواع مختلف ورودی سرریزهای مدور، به منظور کاهش معایب ذاتی این نوع سرریز طرح‌های ورودی مختلفی از جمله طرح گلبرگی (گل مینا) را پیشنهاد داد. بر این اساس استفاده از ورودی‌های اصلاح شده مانند گلبرگی شکل، در حالت کلی به صورت کاملاً مؤثر دبی جریان و عمق استغراق را تغییر می‌دهد. همان‌گونه که اشاره شد تاکنون مطالعات متعددی در ارتباط با

نیلوفری به صورت آزاد عمل می‌کند [نقل از مرجع ۱]. اما اگر  $h/D$  بیشتر از ۰/۲۲۵ شود، سرریز مستغرق می‌شود و ضریب تخلیه کاهش می‌یابد. برای  $h/D$  بزرگتر از ۰/۵، تراز آب روی سرریز کاملاً افقی و سرریز به طور کامل مستغرق می‌شود (نواک و کابلکا<sup>۱</sup> [۱]). از روش‌های کنترل جریان در ورودی شفت‌های قائم استفاده از تأسیسات ضدگرداب مانند هود، رادیه، سقف مشبک و صفحات ضدگرداب است [۲]. نواک و کابلکا [۱] با مطالعه‌ی اثر شکل تیغه‌ها بر جریان در مجاری عمودی به اصلاح جریان‌های شعاعی ورودی به سرریز پرداختند. کبیری سامانی [۲] با مدل‌سازی آزمایشگاهی سرریز مدور قائم نشان داد که با استفاده از تیغه‌های ضدگرداب، می‌توان قدرت چرخشی جریان در ورودی شفت قائم را به شدت کاهش داد. تریولاتو<sup>۲</sup> [۳] پس از بررسی میدان جریان، ورودی قیف شکلی که شکل جانبی آن از نقاط عطف پروفیل قائم سرعت شعاعی به دست می‌آید، را معرفی نمود. پژوهش‌های جامعی به وسیله‌ی برقی و کبیری سامانی [۴] پیرامون استفاده از صفحات ضدگرداب روی تاج سرریزهای مدور قائم انجام شد. شمشی [۵] به بررسی تأثیر ورودی کلید پیانویی بر هیدرولیک جریان در سرریز مدور قائم پرداخت. وی فرم‌های مختلف ورودی کلید پیانویی با طول، ارتفاع و زوایای مختلف را روی شفت قائم نصب کرد. او با تجزیه و تحلیل نتایج به بررسی ارتباط بین کمیت‌های مختلف از جمله پروفیل سطح آب، ضریب دبی و عمق آستانه‌ی استغراق با اعداد بی‌بعد مؤثر مانند عدد فرود و عدد چرخش و سایر پرداخت. مهم‌ترین نتیجه این پژوهش افزایش قابل توجه ضریب دبی با افزایش طول ورودی کلید پیانویی و کاهش ۸۰ درصدی ارتفاع سطح آب در دبی مشخص نسبت به سرریز مدور قائم بدون ورودی و ارتقاء محدوده‌ی آستانه‌ی استغراق است. یکی دیگر از راه‌های اصلاح شکل ورودی سرریز مدور قائم به منظور افزایش ضریب دبی و ظرفیت تخلیه، اصلاح شکل ورودی با طرح گل مینا یا گلبرگی<sup>۳</sup> شکل است. این روش به ویژه برای حل مشکلات ناشی از کمبود فضا قابل کاربرد است. با استفاده از این نوع سازه‌ی خاص می‌توان

1 Novak and Cabelka

2 Trivellato

3 Daisy-Shape (Marguerite) Morning glary spillway

4 Loisel

5 Schleiss

$N$  تعداد پره‌ها است (شکل ۲). با انجام تحلیل ابعادی به روش  $\Pi$  باکینگهام اعداد بی‌بعد مؤثر رینولدز  $N_R = 4Q / (\nu \pi D)$  و بر  $N_W = \rho D / \sigma [4Q / (\pi D^2)]^2$  فرود  $N_{Fh} = 4Q / [\pi (gh^5)^{0.5}]$  عدد استغراق  $h/D$  و نسبت‌های  $L/D$  و  $P/D$  به دست می‌آیند.

شکل (۲) پارامترهای هندسی شفت با ورودی گلبرگی

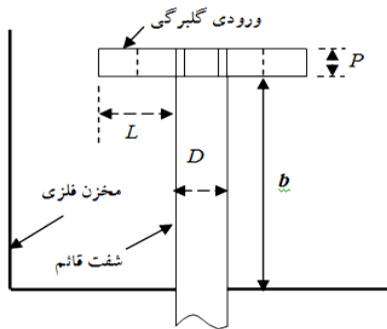


Figure (2) Geometrical parameters of shaft spillways with marguerite inlet

تحت شرایطی خاص، می‌توان اعداد رینولدز و وبر را حذف کرد. مقادیر حدی این اعداد برای حذف آثار لزجت و کشش سطحی به وسیله‌ی پژوهشگران مختلف در (جدول ۱) ارایه شده است. با در نظر گرفتن رابطه‌ی دبی-اشل مربوط به جریان آزاد در سرریزها به صورت معادله (۳) ضریب دبی جریان محاسبه می‌شود.

$$Q = \frac{2}{3} CB \sqrt{2gh^3} \Rightarrow C = \frac{Q}{\frac{2}{3} B \sqrt{2gh^3}} \quad (3)$$

در مورد سرریزهای مدور  $B = \pi D$  محیط مقطع مدور است. در این صورت رابطه‌ی زیر بین پارامترهای مستقل و ضریب دبی جریان برقرار است:

$$C = f_3 \left( \frac{h}{D}, \frac{P}{D}, \frac{L}{D}, N \right) \quad (4)$$

فرم‌های مختلف ورودی سرریزهای مدور قائم انجام شده است. لیکن در رابطه با سرریز مدور قائم با ورودی گلبرگی شکل اطلاعات بسیار کمی در دسترس است. در این پژوهش به بررسی هیدرولیک جریان در سرریز مدور قائم با ورودی گلبرگی شکل با استفاده از مدل آزمایشگاهی پرداخته می‌شود. در مدل آزمایشگاهی ساخته شده، حالت‌های مختلف ورودی گلبرگی شکل با دو قطر متفاوت بررسی شده و در پایان گزینه‌ی مطلوب پیشنهاد می‌شود. و با استفاده از نتایج، معیار حدی تبدیل جریان آزاد به روزنه‌ای یا آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای به صورت کمی بررسی می‌شود. برای دستیابی به این مهم آزمایش‌ها برای هر سرریز از دبی کم آغاز شده و تا لحظه‌ی گذر از جریان آزاد به روزنه‌ای ادامه می‌یابد.

## ۲- مدل سازی آزمایشگاهی و پارامترهای مؤثر

### ۲-۱- آنالیز ابعادی و پارامترهای مؤثر

پارامترهای مؤثر در تحلیل ابعادی جریان روی سرریز مدور قائم به صورت (رابطه ۱) بیان می‌شوند. در این رابطه  $Q$  دبی عبوری از سرریز (لیتر بر ثانیه)،  $h$  ارتفاع آب روی سرریز (متر)،  $g$  شتاب گرانش (متر بر مجذور ثانیه)،  $D$  قطر شفت (متر)،  $\sigma$  کشش سطحی سیال (نیوتن بر متر)،  $\nu$  لزجت سینماتیکی سیال (متر مربع بر ثانیه) و  $\rho$  جرم مخصوص سیال (کیلوگرم بر متر مکعب) است.

$$f_1(Q, h, g, D, \sigma, \nu, \rho) = 0 \quad (1)$$

با اصلاح شکل ورودی و استفاده از سرریز گلبرگی در ورودی سرریز مدور قائم پارامترهای دیگری نیز در تحلیل ابعادی وارد می‌شوند (رابطه‌ی ۲):

$$f_2(Q, h, g, D, \sigma, \nu, \rho, P, L, N) = 0 \quad (2)$$

$P$  ارتفاع سرریز (متر)،  $L$  طول سرریز گلبرگی شکل (متر) و

جدول (۱) معیارهای حذف اعداد رینولدز  $N_R$  و وبر  $N_W$  به وسیله‌ی پژوهشگران مختلف

مرجع	$N_W$	$N_R$
انوار و همکاران <sup>۶</sup> [۹]	$16Q^2 \rho / (\pi^2 D^3 \sigma) \geq 120, 16Q^2 \rho h / (\pi^2 D^4 \sigma) / \sigma \geq 100$	$Q / (\nu h) \geq 10^4$
جین و همکاران <sup>۷</sup> [۱۰]	$16Q^2 \rho / (\pi^2 D^3 \sigma) \geq 120$	$(gD^3)^{0.5} / \nu \geq 5 \times 10^4$

Table (1) Different criteria for ignoring the Reynolds and Weber numbers given in the literature

گلاس شفاف انتخاب شده است. جریان پس از عبور از تخلیه کننده تحتانی از طریق خط لوله‌ای دوباره به مخزن ذخیره‌ی زیرزمینی برمی‌گردد. این چرخه در طول آزمایش‌ها برای مدل‌های مختلف ادامه می‌یابد. برای اندازه‌گیری دبی از یک دبی‌سنج الکترومغناطیسی با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه که در مسیر جریان و بعد از پمپ نصب شده است، استفاده شد. برای اندازه‌گیری عمق جریان در مخزن و هد آب بر روی سرریزها از عمق‌سنج نقطه‌ای استفاده شد. مدل سرریزها با استفاده از ورق گالوانیزه به ضخامت ۲ میلی‌متر ساخته شد. (شکل ۳) نمونه‌هایی از سرریزهای گلبرگی شکل نصب شده با ۳ گلبرگ را نشان می‌دهد. (جدول ۲) متغیرها و پارامترهای بررسی شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. گفتنی است که کمینه عمق آب روی دهانه‌ی ورودی سرریزهای گلبرگی شکل ۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد [۱].

### ۳- تجزیه و تحلیل نتایج

#### ۳-۱- مشاهدات آزمایشگاهی

از آن جایی که هدف، بررسی هیدرولیک جریان عبوری از سرریز مدور قائم در حالت جریان آزاد بوده است، آنگی‌ری از کف مخزن انجام می‌شد. تخلیه‌ی آب در دبی‌های کم در حالت جریان آزاد، وضعیتی شبیه به عبور جریان در سرریز نیلوفری داشت. به این صورت که در ارتفاع‌های کوچک  $h/D \leq 0.225$  [۱] جریان به دیواره‌های شفت قائم می‌چسبید (شکل ۴-الف). با افزایش دبی، عمق آب روی سرریز افزایش یافته و نوسانات سطح آب به تدریج بیشتر می‌شد (شکل ۴-ب). در هر مرحله افزایش دبی، پروفیل سطح آب به وسیله‌ی عمق‌سنج نقطه‌ای برداشت شد. افزایش دبی تا جایی ادامه می‌یافت که جریان عبوری از روی سرریز گلبرگی به آستانه‌ی استغراق روزه‌ای رسیده و پس از آن رژیم جریان از آزاد به روزه‌ای تبدیل شد. لازم به گفتن است که آستانه‌ی تبدیل جریان آزاد به روزه‌ای، حالت حدی دارد و به صورت دائمی و ثابت نیست. پس دو معیار برای تشخیص آستانه‌ی روزه‌ای شدن جریان عبوری از سرریز گلبرگی شکل مد نظر قرار گرفت.

با افزایش دبی، سفره‌ی آب سرریز شده از روی تاج ضخیم‌تر شده و در نهایت به صورت یک جت قائم درمی‌آید. این حالت در واقع وضعیتی است که در آن اولین گود افتادگی برای تشکیل گرداب با هسته‌ی هوا شکل می‌گیرد و سرریز در حالت آستانه‌ی استغراق و تشکیل جریان روزه‌ای قرار می‌گیرد. عمق آب روی سرریز در این حالت با  $h_f$  نمایش داده می‌شود. می‌توان رابطه‌ی (۵) را با در نظر گرفتن فرضیه‌های پیشین به منظور تخمین آستانه استغراق به کار برد.

$$f_4(Q, h_f, P, L, N, D, g, \sigma, \nu, \rho) = 0 \quad (5)$$

با استفاده از روابط حاکم بین پارامترهای بی‌بعد و با اعمال شرایط لازم برای حذف  $N_R$  و  $N_W$  می‌توان آستانه استغراق در سرریز مدور قائم با ورودی گلبرگی شکل را بر اساس پارامترهای بی‌بعد به صورت رابطه‌ی (۶) تعریف کرد.

$$\frac{h_f}{D} = f_5\left(\frac{P}{D}, \frac{L}{D}, N_{Fh}, N\right) \quad (6)$$

#### ۲-۲- مدل آزمایشگاهی و ابزار اندازه‌گیری

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان روی مدل میدان جریان اطراف سرریز مدور قائم انجام شده است. مدل شامل مخزنی استوانه‌ای از جنس ورق گالوانیزه با قطر ۲ متر و ارتفاع ۱ متر است. درون مخزن یک شفت قائم به عنوان سرریز مدور و به منظور تخلیه جریان پیش‌بینی شده است. ورود جریان به مخزن با استفاده از لوله‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر صورت می‌گیرد. این لوله به قسمت تحتانی مخزن متصل شده و آب را از کف مخزن به درون آن هدایت می‌کند. هم‌چنین صفحات و بلوک‌هایی مشبک دقیقاً روی نقطه ورود آب به مخزن تعبیه شده است تا جریان به آرامی و یکنواخت وارد مخزن شود. آب از مخزن زیرزمینی به وسیله یک پمپ با حداکثر دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه وارد مخزن اصلی می‌شود. جریان آب قبل از ورود به مخزن آرام کننده به وسیله‌ی یک شیر کنترل دبی تنظیم می‌شود. جریان پس از عبور از صفحات مشبک وارد مخزن شده و با عبور از روی شفت با ورودی گلبرگی، به وسیله‌ی لوله‌ای به قطر ۷ اینچ به مخزن پایین‌دست تخلیه می‌شود. بخشی از لوله‌ی انتقال آب از شفت به مخزن پایین دست به منظور مشاهده‌ی وضعیت جریان، از جنس پلکسی-

جدول (۲) مشخصات هندسی مدل‌های سرریز گلبرگی شکل و شفت قائم

متغیرها (واحد)	$P$ (cm)	$L$ (cm)	$N$	$D$ (cm)	$b$ (cm)	$Q$ (lit/s)
۵	۲۵	۲	۱۰ و	۳۰	۸-۳۰	
۷/۵	۳۰ و	۳	۱۲/۵			
۱۰ و	۳۷/۵					
۱۲/۵						

Table (2) Geometrical characteristics of the marguerite spillway models and simple vertical shaft

در حالت اول با افزایش دبی و نزدیک شدن به آستانه‌ی روزنه‌ای، سطح آب به علت ورود هوا به سیستم در اثر گذار جریان از آزاد به روزنه‌ای دچار نوسان شد. این حالت به عنوان شرایط استغراق روزنه‌ای در نظر گرفته شد. معیار دوم این که با نزدیک شدن جریان به آستانه‌ی روزنه‌ای، وقوع جریان دوفازی لخته‌ای و عبور بسته‌های هوا به طور منقطع از قسمت پلکسی گلاس شفاف مجرای تخلیه‌کننده به وضوح قابل مشاهده بود. با مشاهده‌ی وضعیت‌های گفته شده آزمایش‌ها متوقف، و دبی نهایی برای هر سرریز ثبت شد. محاسبه‌ی اعداد رینولدز و وبر به‌ازای دبی کمینه نشان داد که اعداد به دست آمده معیارهای گفته شده در مراجع [۹ و ۱۰] را به‌طور کامل ارضا می‌کنند و می‌توان از تأثیر لزجت و کشش سطحی در آزمایش‌ها چشم‌پوشی کرد. آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای جریان برای هر سرریز، بسته به مشخصات هندسی آن در دبی‌های مختلفی شکل می‌گرفت.

### ۲-۳- منحنی‌های دبی-اشل

شکل‌های (۵-الف و ب) به ترتیب منحنی‌های دبی-اشل ورودی‌های دو و سه پره را نمایش می‌دهند. در این نمودارها ورودی‌های با  $L/D$  ثابت و  $P/D$  متغیر، بررسی شده‌اند. بر طبق نتایج در هر سرریز با ورودی گلبرگی با افزایش دبی، هد آب روی سرریز افزایش می‌یابد. روند افزایش هد با دبی تقریباً به صورت خطی است. مشاهده می‌شود که، شیب تغییرات دبی-اشل در ورودی با ارتفاع کمتر، بیشتر است. به این معنا که افزایش هد آب روی سرریز، در ورودی با ارتفاع

شکل (۳) نمونه‌هایی از سرریزهای گلبرگی شکل نصب شده با ۳

گلبرگ



Figure (3) Samples of marguerite spillways with three blades

شکل (۴) الف- جریان آزاد بر روی ورودی گلبرگی شکل سه پره در دبی کم و ب- نوسانات سطح آب اطراف ورودی گلبرگی شکل دو پره با افزایش دبی

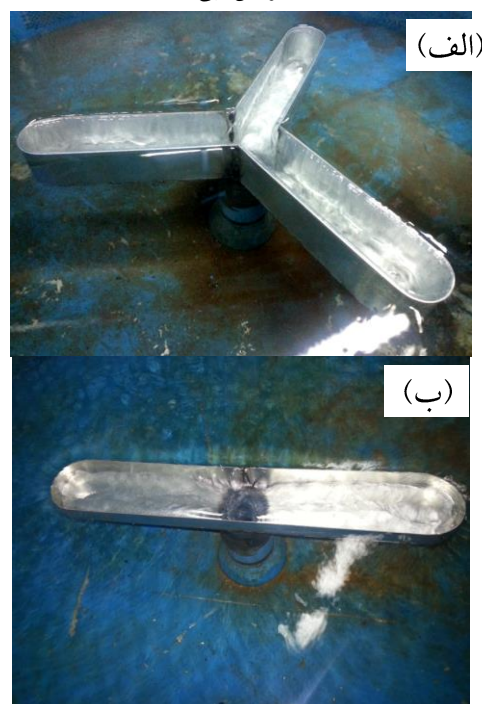


Figure (4) a- Free-flow over marguerite spillways with 3 blades and low discharges, b- water free-surface fluctuations around the marguerite spillways with two blades by increasing the flow discharge

$P/D$  قرار گرفته است. با افزایش  $P/D$  از ۰/۵ تا ۱، روند تغییرات  $h/D$  ابتدا کاهشی است. اما با افزایش بیشتر  $P/D$  به دلیل پراکنده شدن خطوط جریان و افزایش آشفتگی و به تبع آن افت انرژی بیشتر، ضریب دبی جریان کاهش می‌یابد. پس برای عبور دبی مشخص به دلیل کاهش ضریب دبی، هد افزایش خواهد یافت.

شکل (۵) نمودارهای دبی-اشل ورودی‌های گلبرگی با  $L/D=2.5$  و  $1/25$ ،

۱، ۰/۷۵، ۰/۵  $P/D$  برای حالت الف- دو پره و ب- سه پره

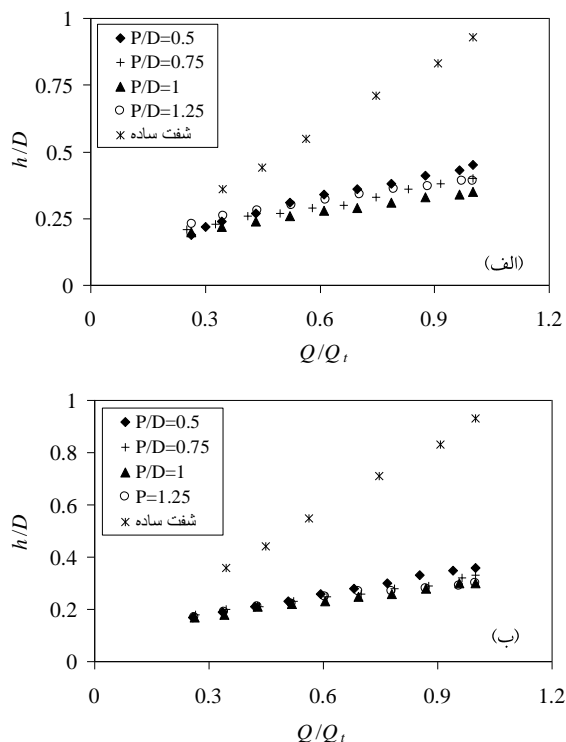


Figure (5) Head-discharge relationships of the marguerite spillways with  $L/D=2.5$ ,  $P/D=0.5, 0.75, 1$  and  $1.25$  for the cases of a- two blades and b- three blades

بالتر بردن آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای به معنای عبور دبی بیشتر و افزایش ظرفیت تخلیه‌ی سرریز در حالت جریان آزاد است. در سرریزهای گلبرگی با ارتفاع ثابت، افزایش یا کاهش طول ورودی، تغییری در هد آب روی سرریز ایجاد نمی‌کند. این موضوع هم در ورودی دو پره و هم در ورودی سه پره مشاهده شد. در مجموع مقایسه‌ی نتایج سرریز مجهز به ورودی گلبرگی با حالت بدون ورودی نشان می‌دهد که ورودی گلبرگی تأثیر چشم‌گیری بر کاهش هد آب و افزایش دبی عبوری دارد. مقایسه نمودارهای دبی-اشل سرریز با

$P$  کمتر، در دبی پایین‌تری رخ می‌دهد. هد آب در نسبت دبی  $Q/Q_t = 0.26$  دبی آستانه استغراق جریان روزنه‌ای (است) در ورودی‌های با مشخصات  $L/D = 2.5$  و  $1$ ،  $P/D = 0.5$  تقریباً برابر است. اما با افزایش دبی و به علت شیب بیشتر نمودار دبی-اشل در سرریز گلبرگی با  $P/D = 0.5$  در محدوده‌ی آستانه‌ی استغراق، نسبت به سرریز با  $P/D = 1$  ارتفاع سطح آب بیشتر شده است. بنابراین در ورودی‌های دو پره با طول یکسان با افزایش ارتفاع سرریز، هد آب روی سرریز کاهش می‌یابد. این کاهش هد در ورودی‌های با  $P/D$  به بیشینه مقدار خود می‌رسد. این در حالی است که برای مقادیر  $P/D \geq 1$  این روند عکس می‌شود. به عنوان نمونه در این ورودی‌ها با افزایش ارتفاع از  $P/D = 1$  به  $1/25$  هد آب روی سرریز به حدی افزایش می‌یابد که نمودار دبی-اشل این ورودی به‌ازای بعضی مقادیر دبی جریان حتی بالاتر از ورودی با ارتفاع  $P/D = 0.75$  قرار می‌گیرد. بررسی نمودار دبی-اشل سرریزهای سه پره نیز نشان می‌دهد که در این ورودی‌ها با افزایش  $P/D$ ، هد آب روی سرریز کاهش یافته و در سرریزهای با ارتفاع زیاد ( $P/D \geq 1$ ) نمودار دبی-اشل تقریباً ثابت می‌ماند. علت ثابت ماندن هد با افزایش دبی، افزایش میزان گذردهی ورودی سه پره است. در جریان آزاد با زیاد شدن دبی جریان، ظرفیت گذردهی گلبرگ‌ها به‌طور هم‌زمان افزایش می‌یابد. بنابراین با وجود افزایش دبی جریان، هد روی ورودی تغییر چندانی نمی‌کند. البته باید توجه داشت که این ویژگی تا مادامی برقرار خواهد بود که استغراق درون گلبرگ‌ها اتفاق نیفتد و یا دبی آنقدر افزایش نیابد که شرایط جریان در ورودی به سمت روزنه‌ای شدن تمایل یابد. چرا که در صورت بروز هریک از این موارد ضمن تغییر رژیم جریان، ضریب دبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در این ورودی‌ها نیز بهینه‌ترین ورودی، ورودی با مشخصه‌ی ارتفاعی  $P/D = 1$  است. افزایش ارتفاع ورودی-های گلبرگی شکل باعث کاهش سطح مقطع جریان در مقایسه با حالت بدون ورودی می‌شود و ورود هوا به داخل سرریز و رسیدن به آستانه‌ی استغراق جریان را به تأخیر می‌اندازد. همان‌گونه که در شکل مشخص است مقادیر  $h/D$  به-ازای  $P/D = 1/25$  بالاتر از مقادیر این پارامتر به‌ازای  $1$

روزنه‌ای شدن جریان کاهش می‌یابد. این کاهش برای همه‌ی انواع سرریز تا نسبت ارتفاعی  $P/D = 1$  ادامه دارد و پس از آن با افزایش ارتفاع، مقدار ارتفاع آستانه‌ی استغراق اندکی افزایش می‌یابد. بنابراین در تمامی نسبت‌های  $L/D$ ، سرریزهای با نسبت ارتفاعی  $P/D = 1$  بهترین کارایی را دارند. در ادامه به بررسی ارتباط عمق آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای با عدد فرود معرفی شده در بالا پرداخته می‌شود. (شکل ۷) پروفیل‌های بی‌بعد عمق آستانه‌ی جریان روزنه‌ای را در مقابل نسبت بدون بعد ارتفاع ورودی‌های گلبرگی شکل نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که در یک  $L/D$  ثابت، با افزایش ارتفاع ورودی اصلاح شده، عمق آستانه‌ی استغراق جریان روزنه‌ای کاهش می‌یابد.

شکل (۶) ارتباط ابعاد ورودی گلبرگی شکل و ارتفاع آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای شدن جریان (\* مربوط به حالت ۳ پره است)

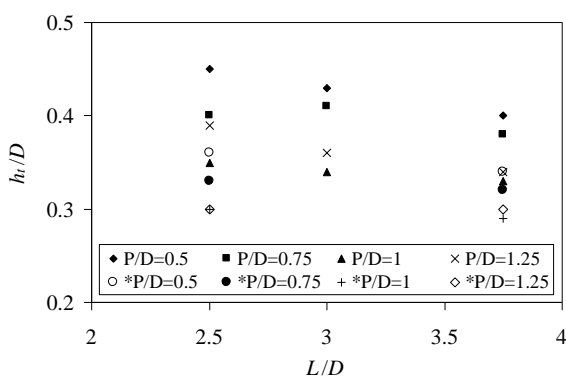


Figure (6) The effect of the geometry of marguerite spillways on the threshold submergence of orifice flow (\* denotes the case of the three blades)

در ورودی‌های گلبرگی شکل با ارتفاع یکسان و طول‌های متفاوت، مقدار ارتفاع آستانه‌ی جریان روزنه‌ای تغییر چندانی نمی‌کند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییر طول ورودی-ها در ارتفاع ثابت، تأثیر چندانی بر ارتفاع آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای ندارد. به منظور بررسی اثر ورودی اصلاح شده‌ی گلبرگی بر هیدرولیک جریان عبوری از سرریز مدور قائم در ادامه به مقایسه ارتباط ارتفاع آستانه‌ی جریان روزنه‌ای در دو حالت سرریز با ورودی گلبرگی شکل و بدون ورودی پرداخته می‌شود (شکل ۸). بررسی این نمودار نشان می‌دهد که در سرریز بدون ورودی، با اندک تغییر عدد فرود (تغییر دبی) عمق آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای با نرخ زیادی تغییر می-

ورودی گلبرگی و سرریز بدون ورودی بیانگر این واقعیت است که سرریز گلبرگی در دبی یکسان، هد را بین ۴۵ تا ۶۵ درصد کاهش می‌دهد. در ضمن سرریز با ورودی گلبرگی در هد ثابت باعث افزایش قابل توجه دبی می‌شود.

افزایش ارتفاع سرریز گلبرگی شکل در طول ثابت، باعث کاهش هد آب روی سرریز می‌شود. با افزایش ارتفاع ورودی، سطح مقطع پره‌های گلبرگی شکل افزایش یافته و علاوه بر یکنواخت کردن سطح آب، دبی بیشتری را از خود عبور می‌دهند. این امر سبب کاهش ارتفاع آب روی سرریز می‌شود. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در ورودی‌های دو پره کاهش هد آب در دبی ثابت با افزایش ارتفاع ورودی گلبرگی تا نسبت ارتفاع  $P/D = 1$  ادامه دارد و پس از آن با افزایش بیشتر ارتفاع ورودی گلبرگی شکل در دبی ثابت، هد آب روی سرریز افزایش می‌یابد. مقایسه‌ی نتایج حاصل از سرریز-های دو و سه پره با طول یکسان و ارتفاع‌های متفاوت نشان می‌دهد که کاهش هد آب در سرریزهای سه پره بیش‌تر است. علت این امر را می‌توان در افزایش دبی عبوری از ورودی‌های گلبرگی شکل سه پره، در اثر افزایش دبی جریان متغیر مکانی عبوری از پره‌ها جستجو کرد. این کاهش در تغییر  $L/D$  از  $2/5$  به  $3/75$  مشهودتر است. در هر چهار مقدار  $P/D$  با افزایش طول ورودی گلبرگی شکل در دبی ثابت، هد آب کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش طول سرریز اول اینکه نوسانات سطح آب کاهش می‌یابد. دوم دبی جریان متغیر مکانی شکل گرفته در پره‌های سرریز، با افزایش طول پره‌ها افزایش می‌یابد که این امر نیز سبب کاهش هد آب روی ورودی سرریز گلبرگی شکل می‌شود.

### ۳-۳- تغییرات آستانه استغراق روزنه‌ای

نمودار (شکل ۶) تغییرات ارتفاع آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای را در مقابل عدد بی‌بعد طول ورودی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که هد آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای در سرریزهای ۳ پره در مقایسه با سرریزهای ۲ پره‌ی مشابه کمتر است. علت این کاهش را می‌توان در افزایش دبی جریان متغیر مکانی عبوری از پره‌ها جستجو کرد. بررسی نمودارها نشان‌دهنده‌ی آن است که با افزایش ارتفاع ورودی‌های گلبرگی، ارتفاع آستانه‌ی

با افزایش دبی، هد آب روی سرریز افزایش یافته و به دنبال آن ضریب دبی کاهش می‌یابد. با بررسی این شکل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول در ورودی‌های گلبرگی شکل دو پره، ضریب دبی افزایش می‌یابد. افزایش طول باعث ایجاد جریان یکنواخت در اطراف سرریز مدور قائم، هم‌چنین دور کردن اغتشاشات حاصل از رسیدن جریان به آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای از محدوده‌ی نزدیک شفت قائم می‌شود و با عبور دبی بیشتر از سرریز مدور سبب افزایش ضریب دبی شد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، افزایش طول سرریز گلبرگی از  $L/D = 2/5$  به  $3/75$  در نسبت  $P/D$  ثابت و  $h/D$  یکسان به طور متوسط سبب افزایش ۱۶ درصدی ضریب دبی می‌شود.

نکته‌ی قابل توجه در ورودی‌های سه پره این است که در دبی‌های کم و مقادیر کم  $h/D$  ضریب دبی در سرریز با طول کمتر، اندکی بیشتر است. در دبی‌های کم به علت یکنواختی بیشتر جریان عبوری از سرریز، افزایش طول ورودی در آرام و یکنواخت‌سازی جریان و افزایش ضریب دبی تأثیر زیادی ندارد. اما با افزایش دبی و نزدیک شدن به شرایط استغراق روزنه‌ای، تأثیر طول ورودی بر افزایش ظرفیت تخلیه‌ی سرریز بیشتر شده و به دنبال آن ضریب دبی افزایش می‌یابد. از مقایسه‌ی مقادیر ضریب دبی در سرریز بدون ورودی و سرریز اصلاح شده، ورودی گلبرگی شکل بر افزایش ضریب دبی به شدت تأثیر می‌گذارد. شکل‌های (۱۰-الف و ب) اثر ارتفاع سرریز گلبرگی شکل دو و سه پره را بر ضریب دبی به‌ازای ارتفاع‌های مختلف سطح آب نشان می‌دهند. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع سرریز گلبرگی شکل ضریب دبی و به تبع آن ظرفیت تخلیه‌ی سرریز افزایش می‌یابد. افزایش ارتفاع گلبرگی شکل و به دنبال آن افزایش سطوح جانبی ورودی، باعث یکنواخت‌تر شدن جریان عبوری از سرریز و افزایش ظرفیت گذرده‌ی سرریز و ضریب دبی می‌شود. همان‌گونه که در نمودارها مشخص است، افزایش ارتفاع ورودی‌ها تا مقدار مشخصی سبب افزایش ضریب دبی می‌شود و پس از این مقدار مشخص با افزایش ارتفاع ضریب دبی کاهش می‌یابد. به عنوان نمونه در مورد سرریز دو پره با تغییر نسبت ارتفاع ورودی از  $P/D = 1$  به

کند. این امر سبب می‌شود که جریان عبوری از سرریز بدون ورودی در دبی بسیار کم با گذر از حالت جریان آزاد به جریان روزنه‌ای تبدیل شود. با تبدیل جریان از آزاد به روزنه‌ای در دبی پایین، ضریب دبی سرریز و به تبع آن ظرفیت تخلیه‌ی سرریز به شدت کاهش می‌یابد.

شکل (۷) ارتباط بین ارتفاع ورودی گلبرگی شکل و ارتفاع آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای در ورودی‌های با طول یکسان

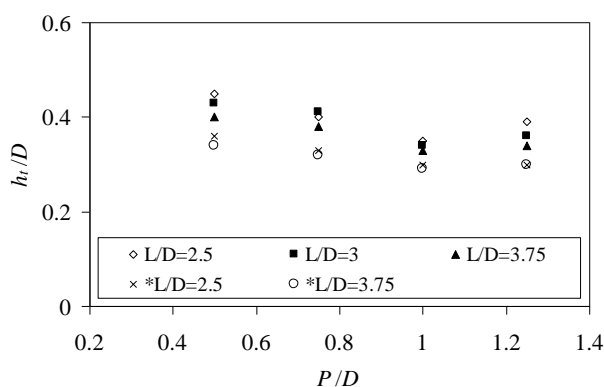


Figure (7) The relation between the marguerite inlet height and the threshold submergence of orifice flow for inlets of constant length

شکل (۸) ارتباط بین عدد فرود و عمق آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای برای ورودی‌های با ارتفاع یکسان و مقایسه با حالت سرریز بدون ورودی

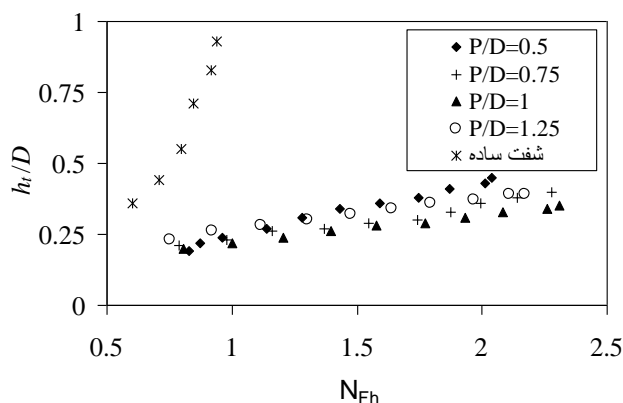


Figure (8) The relation between the Froude number and the threshold submergence of orifice flow for the inlets with constant height compared to a simple shaft spillway

#### ۴-۴- تغییرات ضریب دبی جریان آزاد

تأثیر طول ورودی گلبرگی شکل بر ضریب دبی در شکل‌های (۹-الف و ب) به تصویر کشیده شده است. همان‌گونه که در پیش‌تر گفته شد، ضریب دبی در حالت آزاد از (رابطه ۳ و ۴) قابل محاسبه است. در سرریز مدور قائم در حالت جریان آزاد



شکل (۱۰) تغییرات ضریب دبی در مقابل  $h/D$  برای نسبت‌های مختلف  $P/D$  به‌ازای  $L/D=2/5$  در ورودی‌های الف- دو پره و ب- سه پره

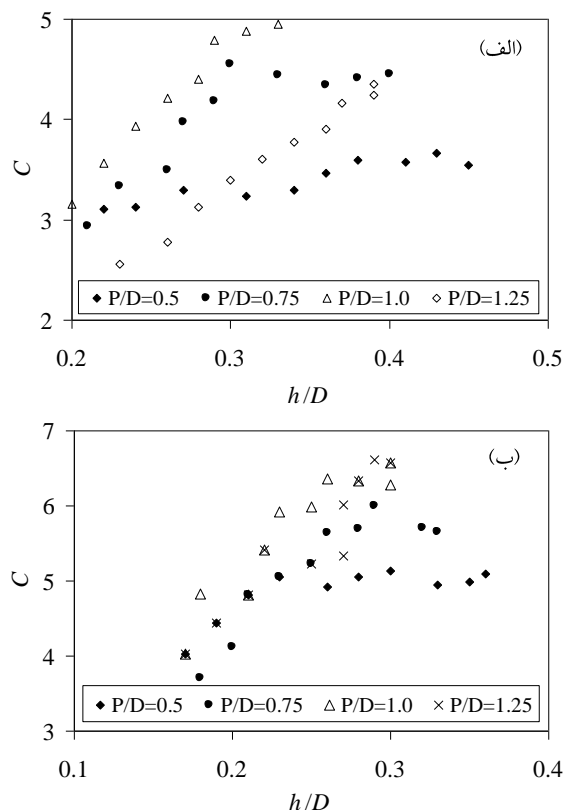


Figure (10) Discharge coefficient versus  $h/D$  for different values of  $P/D$  and  $L/D=2.5$ , for marguerite spillways with a- two blades and b- three blades

### ۳-۵- روابط به‌دست آمده

در این بخش، با توجه به پارامترهای بی‌بعد مؤثر به ارائه روابط آستانه استغراق روزنه‌ای و ضریب دبی با استفاده از نرم‌افزار SPSS پرداخته می‌شود. به منظور بررسی خطای هر یک از روابط به‌دست آمده ضمن بهره‌گیری از  $R^2$  از توابع خطای  $NRMSE^8$  و  $WQD^9$  استفاده شده است. پارامترهای بی‌بعد برای تعیین هد آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای در سرریز-های گلبرگی در حالت جریان آزاد،  $L/D$ ،  $P/D$ ،  $N_{Fh}$  و  $N$  است که پیش‌تر معرفی شده‌اند. با توجه به پارامترهای بی‌بعد مؤثر گفته شده، روابط مختلفی برای تخمین آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای بررسی شد. در پایان (رابطه‌ی ۷) با کمترین میزان خطا و بیشترین میزان هم‌بستگی انتخاب شد. در این رابطه مقادیر  $R^2$  و  $NRMSE$  و  $WQD$  به ترتیب برابر  $0/4$ ،  $0/8$  و  $0/039$  است.

$1/25$  ضریب دبی کاهش می‌یابد. این کاهش به حدی است که در مقادیر کم  $h/D$ ، ضریب دبی در سرریز با مشخصات  $L/D=2/5$  و  $P/D=1/25$  حتی از سرریز با مشخصات  $L/D=2/5$  و  $P/D=0/5$  نیز کمتر شده است. عامل اساسی تأثیرگذار بر تغییرات ضریب دبی جریان در سرریزها، افت انرژی است. با افزایش  $P/D$  در  $L/D$  ثابت و به ویژه در هدهای ورودی کم، پراکنندگی خطوط جریان افزایش یافته و آشفتگی جریان به شدت زیاد می‌شود. آشفتگی حاصل منبع اصلی افت انرژی است. به این ترتیب با افزایش  $P/D$  ضریب دبی کاهش می‌یابد. در ورودی‌های سه پره نرخ کاهش ضریب دبی با افزایش نسبت ارتفاع از ۱ به  $1/25$  کمتر از ورودی‌های دو پره است. با بررسی تغییرات ضریب دبی در هر دو شکل می‌توان دریافت که بیشینه ضریب دبی در این ورودی‌ها در نسبت ارتفاعی  $P/D=1$  حاصل می‌شود.

شکل (۹) تغییرات ضریب دبی در مقابل  $h/D$  برای نسبت‌های مختلف  $L/D$  به‌ازای  $P/D=1$  در ورودی‌های الف- دو پره و ب- سه پره

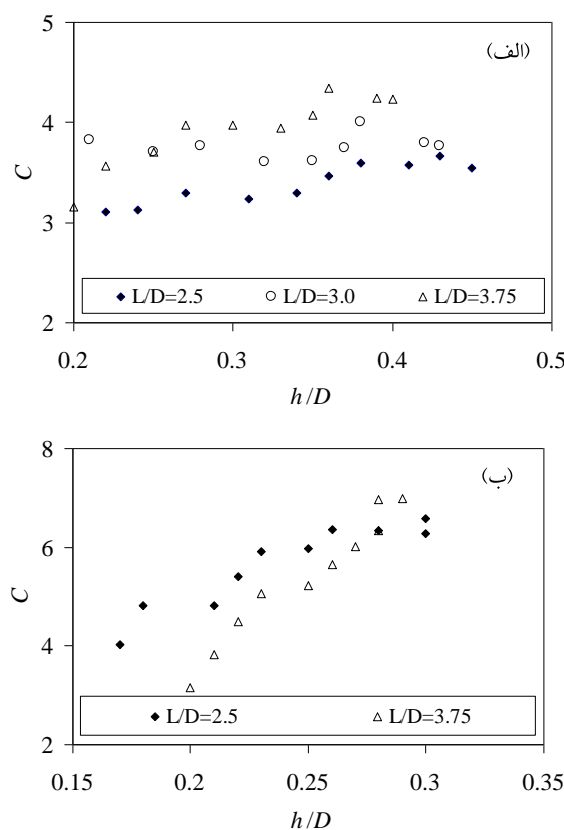


Figure (9) Discharge coefficient versus  $h/D$  for  $P/D=1$ , for marguerite spillways with a- two blades and b- three blades

8 Normalized Root Mean Square Error  
9 Weighted Quadratic Deviation

طول در ورودی‌های گلبرگی شکل دو پره، ضریب دبی افزایش می‌یابد. افزایش طول باعث ایجاد جریان یکنواخت در اطراف سرریز مدور قائم و دور کردن اغتشاشات حاصل از رسیدن جریان به آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای از محدوده‌ی نزدیک شفت قائم شده و سبب افزایش ضریب دبی می‌شود. افزایش طول سرریز گلبرگی در ورودی‌های سه پره در دبی-های کم تأثیر چندانی بر ضریب دبی ندارد. اما با افزایش دبی و نزدیک شدن به شرایط استغراق روزنه‌ای، تأثیر طول ورودی بر افزایش ظرفیت تخلیه‌ی سرریز بیشتر شده و به دنبال آن ضریب دبی افزایش می‌یابد. نتایج نشان داد که در نسبت‌های  $L/D = 3/5$  و نسبت  $P/D = 1$  بیشترین ضریب دبی جریان در حالت آزاد به دست می‌آید. افزایش تعداد پره‌های گلبرگی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش ضریب دبی عبوری از سرریز مدور قائم دارد. (رابطه‌ی ۸) نیز به عنوان مناسب‌ترین رابطه برای تعیین ضریب دبی سرریزهای مدور قائم با ورودی گلبرگی شکل در جریان آزاد، پیشنهاد شد.

#### فهرست علائم

$B$	محیط مقطع مدور
$b$	ارتفاع شفت قائم
$C$	ضریب دبی
$D$	قطر شفت قائم
$g$	شتاب ثقلی
$h$	ارتفاع سطح آب نسبت به تاج سرریز
$h_t$	عمق آب در آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای
$L$	طول ورودی گلبرگی
$N$	تعداد پره‌های گلبرگی
$N_{Fh}$	عدد فرود
$N_R$	عدد رینولدز
$N_W$	عدد وبر
$P$	ارتفاع ورودی گلبرگی
$Q$	دبی جریان
$\rho$	چگالی
$\sigma$	کشش سطحی
$v$	لزجت سینماتیکی

$$\frac{h_t}{D} = -0.39(N_{Fh})^{-0.38} + \quad (7)$$

$$\exp \left[ -0.075 \left( \frac{L}{D} \right)^{0.75} - 0.21 \left( \frac{P}{D} \right)^{0.42} - 0.028(N)^{1.67} \right]$$

پارامترهای بی‌بعد برای تعیین ضریب دبی در سرریزهای گلبرگی شکل در حالت جریان آزاد  $P/D$ ،  $L/D$ ،  $h/D$  و  $N$  است. بر این اساس، بهترین رابطه برای تعیین ضریب دبی جریان در سرریزهای مدور قائم مجهز به ورودی گلبرگی شکل مطابق با (رابطه‌ی ۸) به دست آمد.

$$C = \left( 6.5 \left( \frac{h}{D} \right)^{0.75} \right) + \exp \left[ \left( \frac{L}{D} \right)^{0.04} \left( \frac{P}{D} \right)^{0.013} N^{0.27} \right] \quad (8)$$

در این رابطه مقادیر  $R^2$  و  $NRMSE$  و  $WQD$  به ترتیب برابر  $0/94$ ،  $0/25$  و  $0/017$  است. این معادله‌ها برای  $0/5 \leq h/D \leq 0/1$ ،  $2 \leq L/D \leq 3/5$ ،  $1/25 \leq P/D \leq 0/5$  معتبر است.

#### ۴- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

استفاده از سرریز گلبرگی شکل به عنوان ورودی شفت‌های مدور قائم یکی از روش‌های اصلاح شکل ورودی سرریز مدور قائم است. ساختار خاص این سازه به دلیل دارا بودن پره‌های گلبرگی، تأثیر چشم‌گیری بر کنترل چرخش در ورودی سرریز مدور قائم دارد. با افزایش ارتفاع ورودی‌های گلبرگی، ارتفاع آستانه‌ی روزنه‌ای شدن جریان کاهش می‌یابد. این کاهش برای همه‌ی انواع سرریز تا نسبت ارتفاعی ۱  $P/D =$  ادامه دارد و پس از آن با افزایش ارتفاع، مقدار ارتفاع آستانه‌ی استغراق اندکی افزایش می‌یابد. اثر افزایش ارتفاع در کاهش عمق آستانه‌ی روزنه‌ای در ورودی‌های سه پره نسبت به دو پره چشم‌گیرتر است. ویژگی‌های ساختاری ورودی گلبرگی شکل به گونه‌ای است که باعث ایجاد تأخیر در شکل‌گیری جریان گردابی می‌شود و این امر باعث می‌شود که سرریز دیرتر به عمل‌کرد روزنه‌ای برسد. در نهایت (رابطه‌ی ۷) به منظور تعیین آستانه‌ی استغراق روزنه‌ای در حالت‌های مختلف ورودی گلبرگی شکل ارائه شد. با تجهیز سرریز مدور قائم به ورودی گلبرگی شکل، ظرفیت تخلیه‌ی سرریز به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد. با افزایش نسبت  $P/D$  هد آب روی سرریز کاهش می‌یابد. این کاهش هد در ورودی‌های  $P/D = 1$  به حداکثر مقدار خود می‌رسد. با افزایش

## ۵- مراجع

## References

Msc thesis, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran (In Persian).

[6] <http://nipunscorp.com/2012/10/26/star-shaped-spillway-armenia>.

[7] Loisel P., Duval F. & Chanourdie, S. 2013 Hydraulic scale model of the daisy-shape spillway on the Causse Corrézien dam. *Labyrinth and Piano Key Weirs II*, 177-184.

[8] Schleiss A. J. 2011 *From labyrinth to piano key weirs*. Ecolepolytechnique Federal de Lausanne, Switzerland.

[9] Anwar H. O., Waller, J. & Amphlet M. B. 1978 Similarity of free vortex at horizontal intake. *Journal of Hydraulic Research*, **16**(2), 95-105.

[10] Jain A. K. & Ranga Raju K. G. 1978 Vortex formation at vertical pipe intakes. *Journal of Hydraulic Division*, ASCE, **104**(HY10), 1429-1445.

[1] Novak P. & Cabelka J. 1981 *Models in hydraulic engineering*. Pitman, London, UK.

[2] Kabiri-Samani A. R. 2000 *Optimal topology for designing anti-vortex plates at intakes*. MSc thesis, Department of Civil Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran (In Persian).

[3] Trivellato F. 2010 Anti-vortex devices: Laser measurements of the flow and functioning. *Optics and Lasers in Engineering*, **48**, 589-599.

[4] Borghei S. M. & Kabiri-Samani A. R. 2010 Effect of anti-vortex plates on critical submergence at a vertical intake. *Sientia Iranica*, **17**(2), 89-95.

[5] Shemshi R. 2012 *Effects of Piano-Key inlet on flow hydraulic characteristics at vertical shaft spillways*.

## Effects of Daisy-Shape Inlet on Free Flow over Shaft Spillways

Mojadami M.J.<sup>1</sup> and Kabiri-Samani A.R.<sup>2</sup>

1-MSc student, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology.

2- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology.

akabiri@cc.iut.ac.ir

### Abstract

Vertical shaft spillways have been widely used in a number of dam projects since the late 19<sup>th</sup> century around the world. Although a number of studies oriented to the shape of the inlet of shaft spillways including bell mouth inlet, there are lack of research studies regarding to the improved inlet shape of these hydraulic structures. A brief review of the former studies shows that most of those have focused on the bell mouth inlet to enhance the flow field thereby increasing the discharge capacity using complementary structural elements such as; anti-vortex plates, trash racks etc. Improving the hydraulic performance of different types of spillways was a major objective of several studies, resulting in different forms of spillway crests such as; piano key weirs and Daisy (Marguerite) shape inlets. Daisy (Marguerite) shape inlets which are the subject of the present study have been applied in some dam projects. Applying certain shape of inlets e.g. installing a Daisy (Marguerite) shape inlet over the shaft entrance is an alternation to avoid the swirling flow effects thereby to increase the shaft spillway discharge coefficient. Marguerite shape inlet has been used in different existing dam projects. Marguerite inlet is a unique inlet to increase the discharge coefficient compared to the other shapes of spillway crests. This is in part due to generation of spatially varied flow inside the Marguerite inlet blades, which makes it capable to pass greater flow discharges. Although different types of dam spillways have been the subject of different investigations, there is a lack of study on Marguerite-shape spillways.

In this study, the effects of a Daisy (Marguerite) shape inlet on radial or crest control flow regime through shaft spillways have been investigated based on model experimentation. For the case of symmetry location of a vertical shaft spillway in the dam reservoirs, radial flow around the spillway should be considered to analyze the hydraulic performance of these spillways. Dimensional analysis has been used to determine the effective dimensionless parameters. Experimental study was conducted in a hydraulic model of vertical shaft spillway equipped with the Marguerite-shape inlets. Tests were performed in a circular cylinder of 2 meter diameter and 1 m high. The flow discharges through models of Marguerite spillways with different geometries (including; the length, the height and the number of blades) were ranged until a crest control flow was established. Tests were performed based on a wide range of geometric and hydraulic parameters to study as well as to evaluate the effects of each dimensionless parameter on flow hydraulic characteristics. To create a crest control flow condition, the flow was entered the main reservoir throughout a pipe inlet installed under the floor of the reservoir. Three-dimensional flow velocities were measured by an ADV installed over the reservoir with Frequency of 200 Hz. The water free-surface profile was measured using piezometers installed under the reservoir floor.

Applying nonlinear regression analyses, empirical correlations were obtained for estimating the discharge coefficient and the threshold depth of orifice flow over Daisy (Marguerite) shape inlets.

**Keywords:** Daisy-shape inlet, Discharge coefficient, Experimental model, Free-flow, Threshold depth.