

## تأثیر هندسه پلان ورودی سرریز نیلوفری - زیگزاگی در شرایط با و بدون تیغه گرداب‌شکن بر ضریب دبی

جواد روزگار<sup>۱</sup>، امیر عباس کمان‌بدست<sup>۲\*</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۱</sup>، محمد حیدرنژاد<sup>۲</sup> و امین بردبار<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۱۳)

### چکیده

سرریزهای نیلوفری یکی از انواع سرریزها است که به منظور عبور سیلاب از ارتفاع بالا به پایین استفاده می‌شوند. از این نوع سرریزها در مخزن سدهای واقع در دره‌های باریک و در مکان‌هایی که شیب دیواره‌های مخزن زیاد است، استفاده می‌شود. در سرریزهای نیلوفری وجود گرداب می‌تواند باعث کاهش دبی، ضریب دبی و عملکرد سرریز شود. سرریزهای زیگزاگی به‌عنوان گزینه‌ای مناسب برای اصلاح سرریزهایی که برای عبور دبی حداکثر محتمل با مشکل روبه‌رو هستند، مطرح می‌شوند. در این پژوهش با ساخت مدل فیزیکی سرریز نیلوفری-زیگزاگی در دو مقطع دایره‌ای و مربعی در آزمایشگاه هیدرولیک کاربردی گروه آبیاری مجتمع عالی آموزش صنعت آب و برق خوزستان، هیدرولیک جریان مورد بررسی قرار گرفته و نتایج به‌صورت نمودار ارائه شد. تجزیه و تحلیل داده‌های آزمایشگاهی برای سرریز دایره‌ای و مربعی نشان داد که با افزایش طول سرریز، ضریب تخلیه سرریز کاهش می‌یابد. در بهترین وضعیت برای هر دو سرریز دایره‌ای و مربعی به لحاظ طول قرارگیری تیغه‌ها، سرریز مربعی در شرایط چهار تیغه و طول سرریزی ۱/۰۱ متر در مقابل جریان‌های گردابی، کمترین تأثیر را در افزایش دبی و ضریب دبی در مقایسه با سرریز مربعی با هشت تیغه و طول سرریزی ۱/۰۱ متر، داراست. طبق نمودارهای دبی اشل بدون بعد، شرایط جریان در سرریز مربعی، در مقایسه با بهترین حالت تعداد گرداب‌شکن در سرریز دایره‌ای، مناسب‌تر است، همچنین میزان جریان ورودی و ارتفاع آب روی سرریز بیشتر از سرریز دایره‌ای است.

واژه‌های کلیدی: سرریز نیلوفری مربعی، ضریب تخلیه، سرریزهای زیگزاگی، طول سرریز

۱. گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Ka57\_amir@yahoo.com

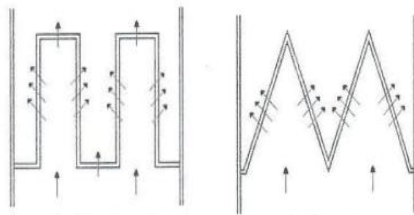
## مقدمه

یکی از انواع سرریزهای مورد استفاده در سدها به منظور تخلیه سیلاب‌ها از مخزن، سرریز نیلوفری است. این سرریز متشکل از یک گالری قائم با دهانه قیفی شکل است که در مواقعی که دیگر انواع سرریزها اقتصادی نبوده و یا قابل اجرا نباشد، استفاده می‌شود. از مشکلات اصلی این نوع سرریزها، مانند دیگر آبگیرهای قائم، ایجاد گرداب‌های قوی در دهانه آنهاست که منجر به کاهش بازدهی سیستم آبگیری و تخلیه مخزن می‌شود. گرداب‌ها علاوه بر کاهش بازدهی سیستم آبگیری مشکلات و خطرات دیگری نظیر ورود هوا، ایجاد ارتعاش در سرریز و سازه‌های وابسته، سروصدا، کاویتاسیون و کاهش عمر مفید تأسیسات و افزایش هزینه‌ها را ممکن است به دنبال داشته باشد. سرریز نیلوفری به سه صورت کنترل تاج، کنترل گلوگاه و کنترل تونل می‌تواند طراحی شود که در حالت کنترل تاج، جریان کاملاً به صورت آزاد، کنترل گلوگاه به صورت نیمه‌مستغرق و در حالت کنترل تونل به صورت کاملاً مستغرق است. این سرریزها در مقایسه با سرریزی نظیر سرریز اوجی در هد یکسان و طول برابر، ضریب دبی کمتری دارد. علت آن، شکل دایره‌ای سرریز است که باعث فشرده شدن خطوط جریان و افت انرژی می‌شود. در صورتی که بتوان به ازای ارتفاع آب ثابت روی سرریز نیلوفری با تغییر در شکل تاج سرریز (که در پلان به صورت دایره‌ای است)، دبی عبوری از سرریز را افزایش دهیم این امر موجب بالا رفتن ضریب اطمینان سرریز نیلوفری برای تخلیه سیلاب می‌شود. سرریزهای چند وجهی به صورت ترکیبی از دیواره‌های متقاطع در سیکل‌های متوالی و به صورت کنگره‌ای شکل ساخته شده، که در یک سیکل آن در پلان عموماً دارای هندسه مثلثی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و یا U شکل است. به این ترتیب از کنار هم قرارگیری دو یا چند سرریز نوک اردکی یک سرریز چند وجهی ایجاد می‌شود. شکل (۱) شمای انواع سرریزهای چند وجهی را نشان می‌دهد.

یکی از مزایای سرریزهای کنگره‌ای می‌توان به بالا بودن ظرفیت سرریز، هوادهی آسان جریان و پائین بودن نوسانات سطح آب در آستانه عبوری جریان از روی سرریز اشاره کرد.

باقری و همکاران به وسیله مدل فیزیکی به بررسی تأثیر تغییر هندسه تاج سرریز روی ضریب تخلیه سرریز نیلوفری پرداختند. ایشان با انجام ۹۰ آزمایش مختلف روی سرریزهایی با مقطع چند وجهی دریافتند که چند وجهی کردن تاج سرریز باعث افزایش دبی عبوری و ضریب تخلیه سرریز می‌شود و بیشترین افزایش در حالت تاج سه وجهی حاصل شد (۱). کریستودولو و همکاران با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی تأثیر تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن بر ضریب دبی سرریز نیلوفری پرداختند و در پژوهش خود به ارتباط معنی داری بین تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن و افزایش ضریب تخلیه سرریز دست یافتند (۲). کمان بدست با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به بررسی تأثیر تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن بر ضریب تخلیه سرریز پرداخت که نتایج پژوهش وی نشان از تأثیر مثبت تیغه‌ها بر ضریب دبی دارد (۷). شیرالی و همکاران سرریزهای نیلوفری را در حالت زیگزاگ بررسی و اثر زیگزاگ را روی تخلیه دبی ارزیابی کردند به طوری که با تغییر شکل مقطع از دایره‌ای به مربعی در دبی و نقاط مشخص، فشار بیشتر شده و خطر کاویتاسیون کمتر می‌شود (۱۹). رستمی و همکاران و زراعت و همکاران اثر پارامترهای زیگزاگ را در سرریزها بررسی کردند و متوجه شدند با افزایش تعداد سیکل در این سرریزها، ضریب دبی افزایشی است (۱۶، ۱۷ و ۲۴).

نوحانی و موسوی جهرمی به وسیله مدل فیزیکی و انجام ۸۴ آزمایش تأثیر تعداد و ضخامت تیغه‌های گرداب‌شکن را بر بازدهی سیستم تخلیه بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که افزایش تیغه‌های گرداب‌شکن موجب افزایش ضریب دبی در سرریز نیلوفری می‌شود (۱۲ و ۱۳). موسوی جهرمی و الستی با استفاده از مدل فیزیکی و انواع تیغه‌های گرداب‌شکن به بررسی تأثیر تیغه‌ها بر هیدرولیک جریان پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش تیغه‌های گرداب‌شکن در کنترل مؤثر بوده است و باعث افزایش ضریب دبی می‌شود. در این بررسی، دبی عبوری از سرریز چند وجهی با دبی عبوری از سرریز خطی، با شکل تاج یکسان و عرض مجرای کل یکسان



شکل ۱. شمایی از انواع سرریزهای چند وجهی

نیلوفری و بدون استفاده از کنگره مقایسه شد (نوآوری طرح). آزمایش‌ها به صورت تعداد دو سرریز با دو مقطع ورودی متفاوت دایره‌ای و مربعی آزمایش شدند و تعداد ۱۵۱ آزمایش که به ترتیب ۷۷ آزمایش برای سرریز دایره‌ای و ۷۴ آزمایش برای سرریز مربعی انجام شد.

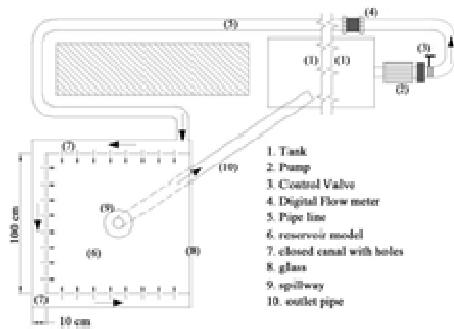
### مواد و روش‌ها

مطالعات آزمایشگاهی پژوهش حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک کاربردی گروه آبیاری مجتمع عالی آموزش صنعت آب و برق خوزستان انجام شده است. در این پژوهش مدل‌های آزمایشگاهی به طول ۸/۴ متر، با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۳۰ متر و عمق ۰/۴۵ متر آزمایش شدند. دیواره‌های فلوم، شفاف و از جنس شیشه بود و در نتیجه پروفیل سطح آب و شرایط جریان قابل مشاهده بوده است. جریان ورودی، از چهار مخزن قرار گرفته شده در زیر فلوم که به صورت سری به هم متصل شده‌اند توسط یک پمپ به سمت مخزن آرام کننده ورودی فلوم هدایت شده است. در این مسیر (از پمپ تا مخزن آرام کننده فلوم) یک دبی‌سنج دیجیتالی کالیبره شده برای اندازه‌گیری دبی جریان نصب شده است. سرانجام، جریان خروجی از فلوم، وارد مخزن پایین دست شده و از آنجا از طریق لوله دوباره به مخازن مذکور هدایت می‌شود. شکل (۲) نمای کلی فلوم مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

مدل آزمایشگاهی شامل مدل مخزن سد، مخزن تأمین آب، پمپ و تجهیزات انتقال و کنترل آب و همچنین سرریزها و لوله خروجی آب بود. مدل مخزن سد به صورت مکعب به طول و عرض ۱۰۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر و با کف و سه وجه فلزی (از جنس گالوانیزه) با ضخامت دو میلی‌متر و

مقایسه شد و نتایج به دست آمده نشان داد که بهترین کارکرد سرریزهای کنگره‌ای در شرایطی است که ارتفاع بار هیدرولیکی نسبتاً کوچک باشد (۳). موسوی و همکاران روی سرریز نیلوفری با دهانه مربعی شکل و اثر تیغه‌های گرداب‌شکن آزمایش‌هایی را انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها در هر دو دهانه مربعی و دایره‌ای باعث افزایش آستانه استغراق می‌شود و همچنین استغراق برای بار آبی بالا در ورودی سرریز اتفاق می‌افتد (۸). توانا، نوحانی و همکاران اثر تیغه‌های گرداب‌شکن روی الگوی جریان سرریز نیلوفری را مطالعه کردند و ضریب دبی سرریز نیلوفری بررسی شد. نتایج آنها نشان داد که وجود گرداب‌شکن تأثیر زیادی در افزایش ضریب دبی داشته و با افزایش تعداد تیغه‌ها، دبی گذرا بیشتر شده است و همچنین با افزایش ارتفاع آب، سرعت جریان افزایش می‌یابد. حیدری ارجلو و همکاران در پژوهشی اثر شیب و تعداد پلکان در عملکرد سرریزهای پلکانی را بررسی کردند. در پژوهش آنها آزمایش‌های مختلفی به ازای انرژی ثابت بالادست انجام و هدف اساسی بر میزان استهلاک انرژی استوار شد. بر اساس نتایج به دست آمده در آن پژوهش، افزایش شیب تا ۳۰ درجه می‌تواند منجر به افت انرژی حداکثر شود (۱۲). کمان‌بندست و موسوی در یک پژوهش آزمایشگاهی به بررسی اثر تعداد و زاویه تیغه گرداب‌شکن بر سرریز نیلوفری با مقطع دایره و مربع پرداختند. نوروزی و احدیان با بررسی تأثیر تیغه‌های آب‌شکن ۴۵ درجه بر ضریب تخلیه جریان دریافتند که افزایش شش تیغه ضریب جریان را تا ۴۰ درصد افزایش می‌دهد (۱۴).

در این پژوهش، یک سرریز نیلوفری با مقطع دایره و مربعی ساخته شد که میزان دبی عبوری و ضریب تخلیه جریان در حالت کنترل تاج با نصب پنج حالت زیگزاگ روی سرریز



شکل ۲. نمای کلی از فلوم آزمایشگاهی



شکل ۳. محل آب‌گیری از فلوم اصلی آزمایشگاه هیدرولیک برای مدل فیزیکی سرریز نیلوفری

(۲) نیز قابل بیان است:

$$Q = C_d L H^{\frac{3}{2}} \quad (1)$$

$$Q = C \sqrt{2g} L H^{\frac{3}{2}} \quad (2)$$

در این رابطه  $Q$  دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه،  $C$  ضریب تخلیه سرریز بدون بعد،  $g$  شتاب ثقل بر حسب متر بر مجذور ثانیه،  $L$  طول سرریز بر حسب متر و  $H$  ارتفاع آب روی سرریز بر حسب متر است. در واقع رابطه اصلی محاسبه دبی سرریز رابطه (۲) است. چرا که در این حالت ضریب دبی عددی بدون بعد می‌شود ولی از آنجا که حاصل عبارت عددی ثابت است، همراه با پارامتر  $C$ ، با عنوان  $C_d$  استفاده می‌شود. طول سرریز برای سرریز دایره‌ای برابر  $\pi D$  که  $D$  قطر سرریز است و برای سرریز مربعی برابر با  $4B$  که  $B$  طول یک ضلع مربع است. در این پژوهش ابعاد سرریز مربعی ساخته شده به گونه‌ای است که قطر دایره برابر با طول ضلع مربع است. به عبارتی  $B=D$  می‌شود که این به این معناست که طول سرریز مربعی برابر  $4D$  می‌شود. حال پارامتر  $k$  را به عنوان ضریب عدد  $D$  معرفی می‌کنیم. یعنی طول

یک وجه از شیشه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر ساخته شد. به منظور وارد شدن آرام و از همه جهات آب به مدل مخزن سد، از یک کانال بسته به ابعاد ۱۰×۱۰ سانتی‌متر در کنار دیواره سه وجه فلزی مخزن استفاده شد که با وجود سوراخ‌هایی در سرتاسر طول خود، آب به صورت آرام و یکنواخت از جهات مختلف از زیر وارد مدل می‌شود و آرام و بدون تلاطم آب بالا آمده تا به سطح مورد نظر برسد. آب به واسطه یک پمپ گریز از مرکز از مخزن تأمین آب به مدل هدایت می‌شود. در مسیر لوله خروجی پمپ، یک شیر کنترل برای تنظیم آب ورودی به مدل و یک دستگاه کنتور دیجیتال برای نشان دادن دبی عبوری قرار داشت که قرائت دبی را به آسانی و با کمترین خطا میسر می‌ساخت. با ورود آب به مخزن و پس از پر شدن مخزن تا ارتفاع سرریز، آب سرریز می‌شد و آب سرریز شده به وسیله لوله خروجی به مخزن تأمین آب بازگردانده می‌شد. (شکل ۳)

### آنالیز ابعادی

رابطه محاسبه دبی عبوری از سرریز (رابطه ۱)، به شکل رابطه

حد استغراق آزمایش‌ها روی هر دو سرریز با کلیه حالات مختلف متوقف می‌شد. شکل شماتیک حالات مختلف سرریزهای استفاده شده در شکل (۶) و جزئیات مربوط به حالت‌های مختلف آزمایش‌ها و تعداد آزمایش در حالت مقطع مربعی در جدول (۱) آورده شده است. لازمه استفاده از نتایج مدل‌های آزمایشگاهی در مدل واقعی، ارائه داده‌هایی به صورت بدون بعد است. به همین منظور اعداد بدون بعد استخراج شده از معادله سرریز که پیش‌تر در قسمت آنالیز ابعادی و استخراج اعداد بدون بعد معرفی شدند، برای هر دبی و ارتفاع محاسبه شد که نتایج حاصله به صورت نمودار و جدول ارائه شده است. در تمام نمودارها  $s$  نماینده مقطع مربع و  $c$  مقطع دایره است.

همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، داده‌های برداشت شده دارای ضریب همبستگی بالایی هستند که این موضوع نشانگر دقت بالای آزمایش‌ها و خطای کم در برداشت داده‌ها است.

**بررسی تأثیر عمق استغراق (H/D) بر ضریب تخلیه سرریز (Cd)**  
 شکل‌های (۷) و (۸)، نمودار بدون بعد ضریب تخلیه سرریز و عمق استغراق در سرریز نیلوفری دایره‌ای و مربعی در شرایط بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن و پنج حالت قرارگیری را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، روند تغییرات نسبت استغراق در برابر ضریب تخلیه سرریز، در محدوده آزمایش‌های نزولی است و با افزایش نسبت استغراق، کاهش ضریب تخلیه مشاهده می‌شود. در واقع افزایش نسبت استغراق، نشان‌دهنده کاهش بازدهی سرریز نیلوفری دایره‌ای و مربعی است. با افزایش نسبت استغراق روی سرریز، تأثیر قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن کمتر می‌شود. در یک عمق استغراق ثابت با افزایش طول سرریزی ضریب دبی کاهش می‌یابد به طوری که حداکثر ضریب تخلیه در حالت بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن ایجاد شد.

سرریز برای هر دو حالت برابر  $kD$  می‌شود. که مقدار  $k$  برای سرریز دایره‌ای برابر با عدد  $\pi$  و برای سرریز مربعی برابر ۴ می‌شود. به این ترتیب:

$$Q = C\sqrt{gkDH}^{\frac{3}{2}} \quad (3)$$

با تقسیم طرفین معادله بر عبارت  $D^{\frac{5}{2}}\sqrt{g}$  معادله ی زیر به دست می‌آید:

$$\frac{Q}{D^{\frac{5}{2}}\sqrt{g}} = Ck\left(\frac{H}{D}\right)^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

در رابطه فوق عبارت‌های  $\left(\frac{H}{D}\right)^{\frac{3}{2}}$  و  $\frac{Q}{D^{\frac{5}{2}}\sqrt{g}}$  بدون بعد

هستند. برای رسم نمودارها از  $\left(\frac{H}{D}\right)$ ،  $C_d$  و  $\frac{Q}{D^{\frac{5}{2}}\sqrt{g}}$  استفاده می‌شود. برای سهولت در نگارش، عبارت

$$\frac{Q}{D^{\frac{5}{2}}\sqrt{g}}$$

با نماد  $I$  نشان داده شده است.

در این پژوهش از دو سرریز نیلوفری با مقطع دایره و مربع و پنج حالت زیگزاگ استفاده شده است. سرریز نیلوفری با ارتفاع ۲۰۰ میلی‌متر، قطر تاج ۲۰۰ میلی‌متر و قطر شفت ۵۳ میلی‌متر، از جنس پلی‌اتیلن و تیغه‌های گرداب‌شکن از جنس پلکسی گلاس سفید طراحی و ساخته شدند. (شکل‌های ۴ و ۵)

## نتایج و بحث

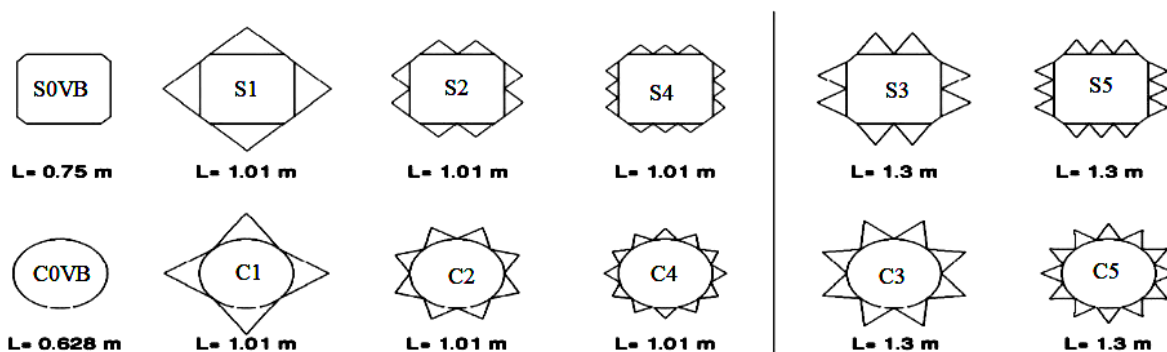
در این پژوهش تعداد دو سرریز با دو مقطع ورودی متفاوت دایره‌ای و مربعی آزمایش شدند. در سرریزهای اشاره شده تعداد ۱۵۱ آزمایش که به ترتیب ۷۷ آزمایش برای سرریز دایره‌ای و ۷۴ آزمایش برای سرریز مربعی انجام شده است. در هر آزمایش پس از ایستادن مشخصات جریان، ارتفاع آب روی سرریز به وسیله اشل قرائت و ثبت شد. آزمایش‌ها تا قبل از حد استغراق ادامه پیدا می‌کردند یعنی به هنگام رسیدن به



شکل ۴. سرریزهای نیلوفری با مقطع دایره‌ای و مربع در شرایط استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن با طول ۱/۰۱ متر



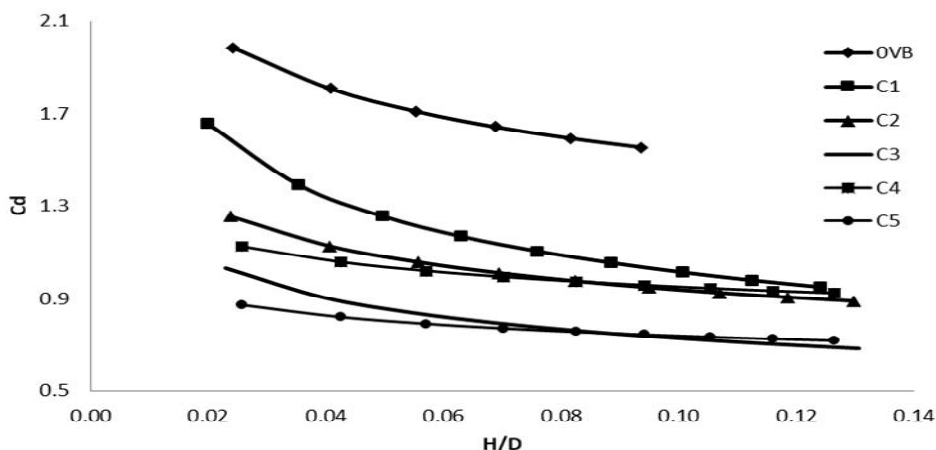
شکل ۵. حالت بدون زیگزاگ و پنج حالت قرارگیری زیگزاگ برای سرریز نیلوفری مربعی



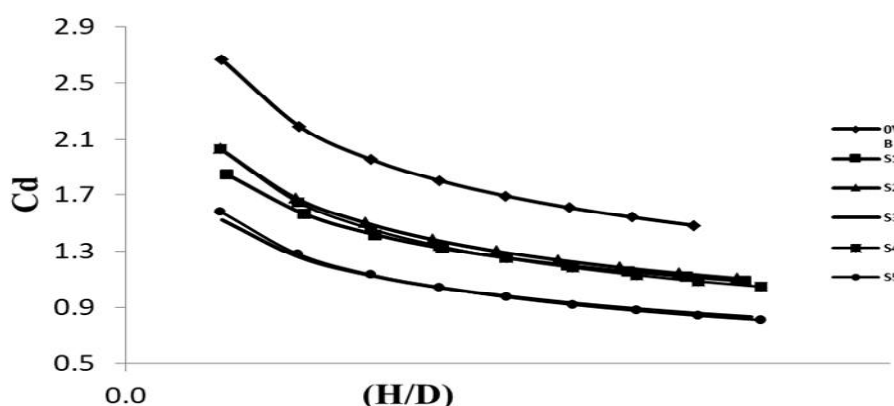
شکل ۶. شکل شماتیک حالات مختلف سرریزهای استفاده شده در این پژوهش

جدول ۱. جزئیات حالت‌ها و تعداد آزمایش‌ها (حالت مقطع مربعی)

حالت	شکل سرریز	تعداد کنگره	طول سرریز	تعداد آزمایش	رابطه دبی - اشل حاصل از برازش توانی	ضریب همبستگی داده‌ها (R <sup>2</sup> )
S0VB	مربعی	۰	۷۵	۱۴	$y = ۲/۴۸۴۹x^{۰/۸۵۵۱}$	٪۹۹
S1	مربعی	۴	۱/۰۱	۱۲	$y = ۲/۹۹۳۴x^{۰/۶۹۵۲}$	٪۹۹
S2	مربعی	۸	۱/۰۱	۱۲	$y = ۲/۴۰۶۴x^{۰/۸۱۶۱}$	٪۹۹
S3	مربعی	۸	۱/۳	۱۲	$y = ۳/۳۲۴۶x^{۰/۵۸۷۹}$	٪۹۹
S4	مربعی	۱۲	۱/۰۱	۱۲	$y = ۳/۰۹۹۱x^{۰/۶۲۲۶}$	٪۹۹
S5	مربعی	۱۲	۱/۳	۱۲	$y = ۴/۰۶۸۶x^{۰/۵۲۱۷}$	٪۹۹
	جمع	۷۴				



شکل ۷. نمودار بدون بعد ضریب تخلیه و عمق استغراق در سرریز نیلوفری دایره‌ای

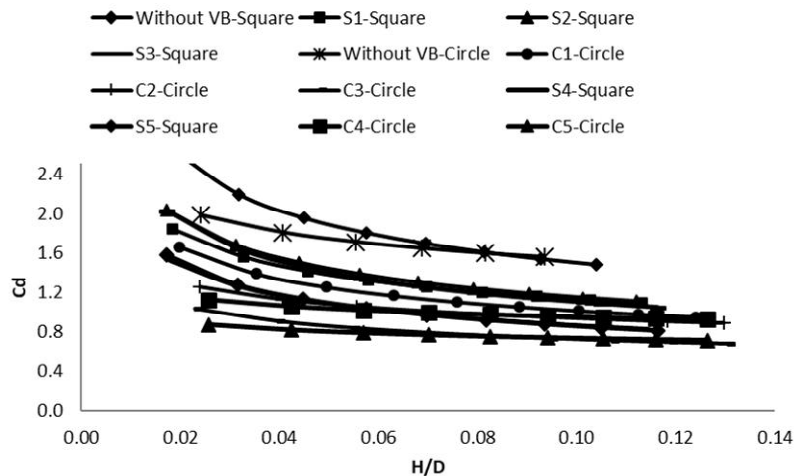


شکل ۸. نمودار بدون بعد ضریب تخلیه و عمق استغراق در سرریز نیلوفری مربعی

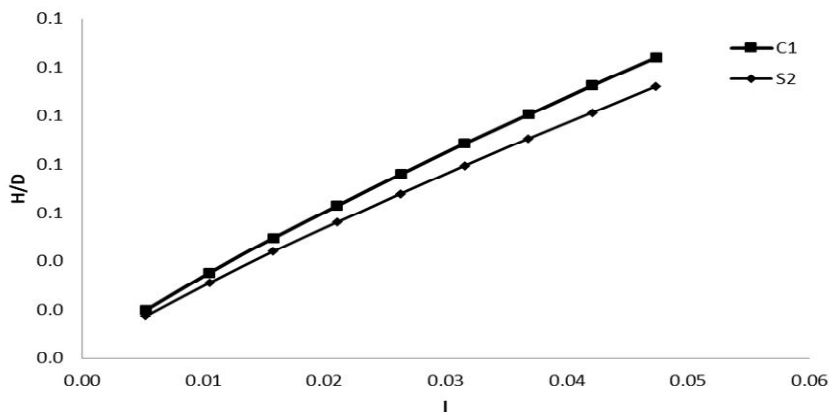
آزمایش‌های نزولی است و با افزایش نسبت استغراق، کاهش ضریب تخلیه مشاهده می‌شود. در واقع افزایش نسبت استغراق، نشان‌دهنده کاهش بازدهی سرریز نیلوفری دایره‌ای و مربعی است. با توجه به نمودار در عمق‌های استغراق ثابت مشاهده می‌شود که حالت بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن برای سرریز نیلوفری مربعی دارای ضریب بالاتری نسبت به سایر حالات تیغه‌های گرداب‌شکن برای سرریز نیلوفری دایره‌ای است. همچنین باید به این نکته توجه کرد که در این پژوهش نباید تنها از ضریب دبی برای مقایسه شرایط جریان در سرریز مربعی و سرریز دایره‌ای استفاده کرد، چرا که به‌واسطه تفاوت در شکل مقطع، دو سرریز در طول مؤثر سرریز با یکدیگر متفاوت هستند. این موضوع را می‌توان با استفاده از نمودار دبی اشل بدون بعد نشان داد (شکل ۱۰). همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود شرایط جریان برای سرریز مربعی بهتر از شرایط بهترین حالت سرریز دایره‌ای است. یعنی به‌ازای یک جریان ورودی مشخص، ارتفاع آب کمتری روی

برای سرریز مربعی به‌دلیل اینکه جریان‌های گردابی و سیرکولاسیون در سرریز مربعی بسیار کمتر به وقوع می‌پیوندد و مساحت مقطع مربعی بیشتر از دایره‌ای است در کل، در یک ارتفاع آب مشخص، سرریز مربعی می‌تواند میزان دبی بیشتری را از خود عبور دهد بدون اینکه ریسک رفتن به استغراق و خطرات احتمالی ناشی از آن بیشتر شود. بنابراین با توجه به شکل (۸) می‌توان به این نتیجه رسید که قرارگیری هشت تیغه گرداب‌شکن با طول ۱/۰۱ متر در یک عمق استغراق ثابت، بیشترین تأثیر را بر افزایش ضریب تخلیه سرریز نیلوفری داشته است. همچنین در دبی‌های پایین سرریز نیلوفری با مقطع مربع در شرایط بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن عملکرد مناسب‌تری در افزایش ضریب تخلیه جریان نسبت به سایر حالات قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن دارد.

همچنین همانگونه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود، روند تغییرات نسبت استغراق در برابر ضریب تخلیه سرریز، در محدوده



شکل ۹. نمودار مقایسه‌ای بدون بعد ضریب تخلیه و عمق استغراق در سرریز دایره‌ای و مربعی



شکل ۱۰. نمودار دبی - اشل بدون بعد برای بهترین حالت سرریز دایره‌ای و مربعی

سرریز مربعی قرار می‌گیرد همچنین سرریز مربعی جریان ورودی بیشتری را قبل از رسیدن به استغراق تجربه می‌کند.

بررسی تأثیر جریان ورودی بدون بعد (I) بر ضریب تخلیه سرریز (Cd) همانگونه که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشاهده می‌شود، با افزایش دبی جریان ورودی که در این نمودار بدون بعد شده است، میزان ضریب تخلیه سرریز (Cd) کاهش می‌یابد که این کاهش، ناشی از همگرا شدن جریان در قسمت گلوگاه سرریز است. همچنین بر اساس نمودار حالت‌های مختلف، در کلیه عمق‌های استغراق، با افزایش طول تیغه‌های گرداب‌شکن در سرریز دایره‌ای، ضریب دبی کاهش می‌یابد به طوری که حداکثر

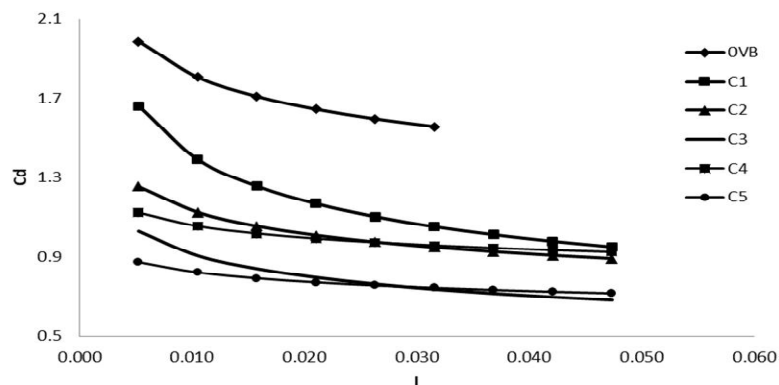
ضریب تخلیه در هنگام نصب چهار تیغه گرداب‌شکن با طول ۱/۰۱ متر ایجاد شد. در سرریز مربعی به دلیل اینکه جریان‌های گردابی و سیرکولاسیون در سرریز مربعی بسیار کمتر به وقوع می‌پیوندد، و همچنین مساحت مقطع مربعی بیشتر از دایره‌ای است. در کل با توجه به شکل (۱۲) می‌توان به این نتیجه رسید که قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن با طول در یک عمق استغراق ثابت، بیشترین تأثیر را بر افزایش ضریب تخلیه سرریز نیلوفری داشته است. همچنین ملاحظه می‌شود که در دبی‌های پایین سرریز نیلوفری با مقطع مربع در شرایط بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن عملکرد مناسب‌تری در افزایش ضریب تخلیه جریان نسبت به قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن دارد. شکل (۱۳)، نمودار مقایسه‌ای بدون بعد ضریب تخلیه

سرریز مربعی قرار می‌گیرد همچنین سرریز مربعی جریان ورودی بیشتری را قبل از رسیدن به استغراق تجربه می‌کند.

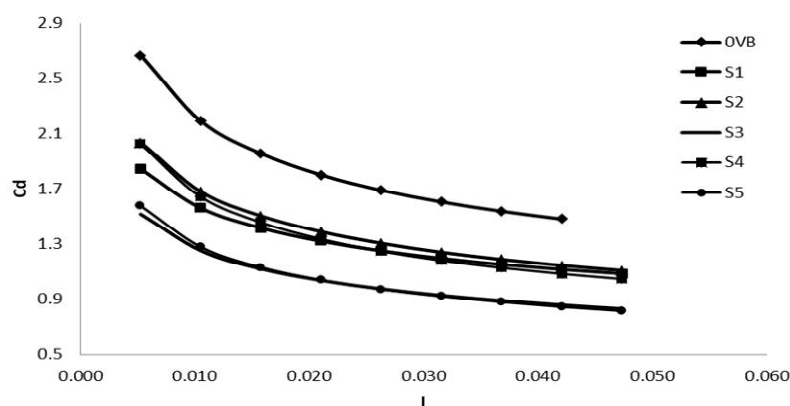
### بررسی تأثیر جریان ورودی بدون بعد (I) بر ضریب تخلیه سرریز (Cd)

همانگونه که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) مشاهده می‌شود، با افزایش دبی جریان ورودی که در این نمودار بدون بعد شده است، میزان ضریب تخلیه سرریز (Cd) کاهش می‌یابد که این کاهش، ناشی از همگرا شدن جریان در قسمت گلوگاه سرریز است. همچنین بر اساس نمودار حالت‌های مختلف، در کلیه عمق‌های استغراق، با افزایش طول تیغه‌های گرداب‌شکن در سرریز دایره‌ای، ضریب دبی کاهش می‌یابد به طوری که حداکثر





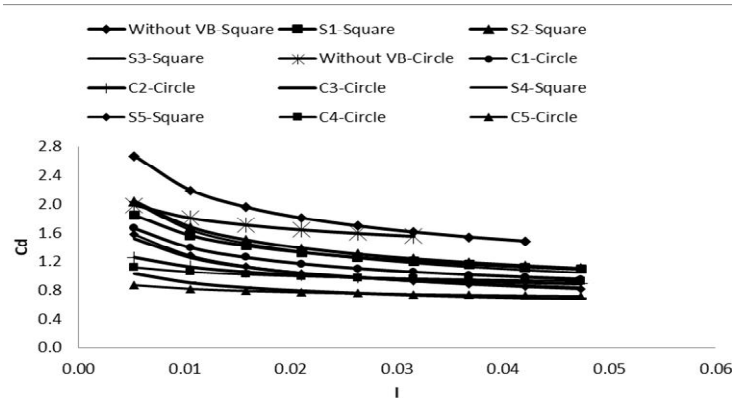
شکل ۱۱. نمودار بدون بعد ضریب تخلیه و جریان ورودی در سرریز نیلوفری دایره‌ای



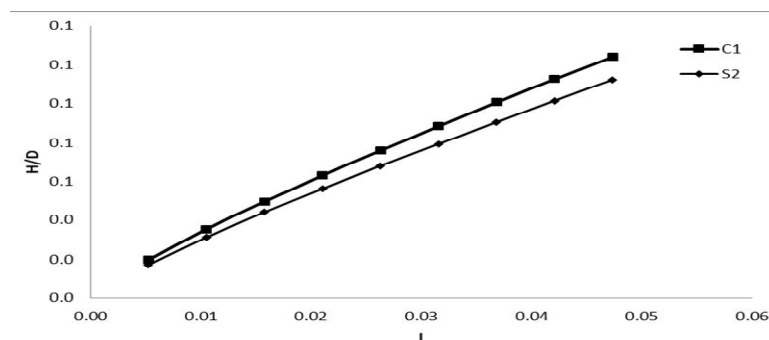
شکل ۱۲. نمودار بدون بعد ضریب تخلیه و جریان ورودی در سرریز نیلوفری مربعی

طول مؤثر سرریز با یکدیگر متفاوت هستند. همچنین، ضریب دبی در سرریز دایره‌ای در حالت بدون تیغه و دو زاویه قرارگیری  $30^\circ$  و  $60^\circ$  درجه نسبت به تمامی حالات در سرریز مربعی مقدار کمتری دارد. ولی این موضوع در مورد مقایسه سرریز دایره‌ای با زاویه  $90^\circ$  درجه و سرریز مربعی صدق نمی‌کند، به طوری که مقادیر ضریب دبی در این حالت برای سرریز دایره‌ای بیشتر از تمامی حالت‌های سرریز مربعی است. این موضوع به هیچ عنوان نشان‌دهنده کارایی کمتر سرریز مربعی نسبت به سرریز دایره‌ای نیست چرا که طول سرریز در سرریز مربعی بیشتر از سرریز دایره‌ای است و با فرض ضریب دبی برابر برای هر دو سرریز در یک ارتفاع آب ثابت، سرریز مربعی جریان بیشتری را از خود عبور می‌دهد. این موضوع را می‌توان با استفاده از نمودار دبی اشکل بدون بعد نشان داد (شکل ۱۴). همانگونه که مشاهده می‌شود شرایط جریان برای

سرریز و جریان ورودی بدون بعد در سرریز نیلوفری دایره‌ای و مربعی در شرایط بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن و پنج حالت قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود، روند تغییرات نسبت استغراق در برابر دبی جریان، در محدوده آزمایش‌ها نزولی است و با افزایش دبی جریان، کاهش ضریب تخلیه مشاهده می‌شود. با توجه به نمودار در عمق‌های استغراق ثابت مشاهده می‌شود که زاویه قرارگیری  $90^\circ$  درجه تیغه‌های گرداب‌شکن برای سرریز نیلوفری دایره‌ای دارای ضریب بالاتری نسبت به زاویه قرارگیری  $60^\circ$  درجه تیغه‌های گرداب‌شکن برای سرریز نیلوفری مربعی است. همچنین باید به این نکته توجه کرد که در این پژوهش نباید تنها از ضریب دبی برای مقایسه شرایط جریان در سرریز مربعی و سرریز دایره‌ای استفاده کرد، چرا که به واسطه تفاوت در شکل مقطع، دو سرریز در



شکل ۱۳. نمودار مقایسه‌ای بدون بعد ضریب تخلیه و جریان ورودی در سرریز دایره‌ای و مربعی



شکل ۱۴. نمودار دبی - اشل بدون بعد برای بهترین حالت سرریز دایره‌ای و مربعی

سرعت مماسی و همچنین هدایت خطوط جریان به مرکز سرریز با پیمودن مسیر کمتر است. برای سرریز مربعی روند تغییرات ضریب تخلیه جریان به طول تیغه‌های گرداب‌شکن به‌ازای مقادیر مختلف جریان ورودی (بدون بعد)، با افزایش زاویه قرارگیری تیغه‌ها نسبت به جداره سرریز ضریب تخلیه جریان باعث کاهش دبی و ضریب دبی می‌شود. به‌ازای یک دبی ثابت بهترین ضریب دبی برای سرریز مربعی مربوط به حالت استفاده از هشت تیغه گرداب‌شکن با طول ۱/۰۱ متر نسبت به سایر حالات است. (شکل ۱۶).

### نتیجه‌گیری

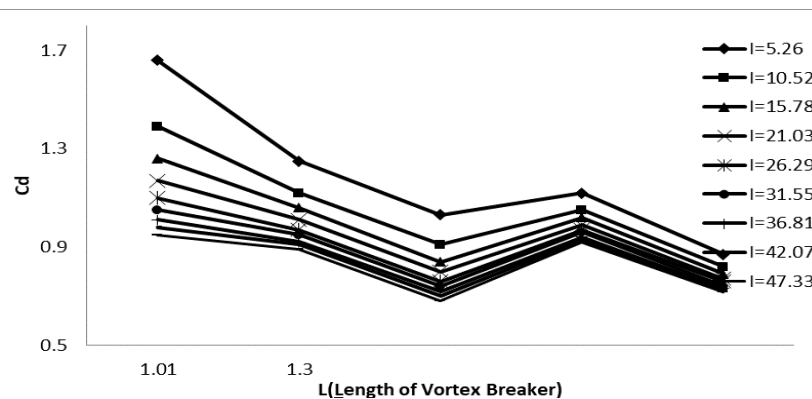
با توجه به نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌ها و تحلیل‌های این پژوهش نتیجه‌گیری می‌شود:

استفاده از سرریز نیلوفری مربعی و دایره‌ای در شرایط بدون استفاده از حالت زیگزاگ در افزایش دبی و ضریب دبی نسبت به حالتی که از این زیگزاگ‌ها استفاده می‌شود، مؤثرتر است.

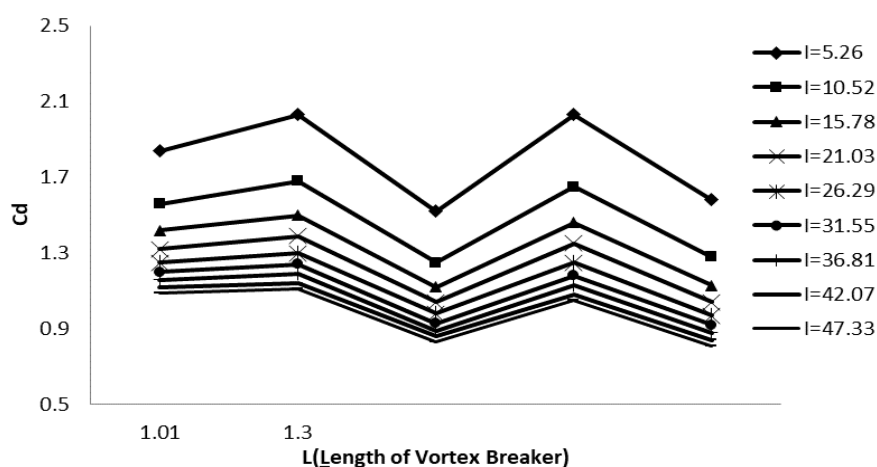
سرریز مربعی بهتر از شرایط بهترین حالت سرریز دایره‌ای است، یعنی به‌ازای یک جریان ورودی مشخص ارتفاع آب کمتری روی سرریز مربعی قرار می‌گیرد.

### بررسی تأثیر طول تیغه‌های گرداب‌شکن (L) بر ضریب تخلیه سرریز (Cd)

شکل‌های (۱۵) و (۱۶)، نمودار بدون بعد ضریب تخلیه سرریز و طول تیغه‌های گرداب‌شکن در سرریز نیلوفری دایره‌ای و مربعی برای جریان‌های ورودی بدون بعد شده مختلف را نشان می‌دهد. تغییرات ضریب دبی در مقطع مربعی حدود ۲۰ درصد بیشتر از دایره‌ای به‌دست آمد. همانگونه که در شکل (۱۵) مشاهده می‌شود، برای سرریز دایره‌ای، با افزایش طول تیغه‌های گرداب‌شکن، ضریب تخلیه جریان کاهش می‌یابد. به‌ازای یک دبی ثابت بهترین ضریب دبی برای سرریز دایره‌ای، مربوط به چهار تیغه گرداب‌شکن نسبت به سایر حالات است که این امر به‌دلیل کاهش بیشتر میزان



شکل ۱۵. نمودار تغییرات ضریب دبی به زاویه گرداب‌شکن به‌ازای مقادیر مختلف جریان ورودی (بدون بعد) در سرریز دایره‌ای



شکل ۱۶. نمودار تغییرات ضریب دبی به زاویه گرداب‌شکن به‌ازای مقادیر مختلف جریان ورودی (بدون بعد) در سرریز مربعی

طبق نمودارهای دبی اشل بدون بعد، شرایط جریان در سرریز مربعی، در مقایسه با بهترین حالت تعداد گرداب‌شکن در سرریز دایره‌ای، مناسب‌تر است، همچنین میزان جریان ورودی و ارتفاع آب روی سرریز بیشتر از سرریز دایره‌ای است.

### سپاسگزاری

پژوهش حاضر برگرفته از رساله دکتری جواد روزگار، دانشجوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز است. بدین وسیله از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

افزایش طول زیگزاگ در سرریز نیلوفری با مقطع ورودی دایره‌ای و مربعی، باعث کاهش دبی و ضریب دبی می‌شود. میزان افزایش آستانه استغراق با افزایش طول تیغه‌های گرداب‌شکن، در سرریز دایره‌ای بیشتر از سرریز مربعی است. استفاده از سرریز مربعی در شرایط بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن نسبت به سرریز دایره‌ای در همین شرایط، باعث افزایش دبی و ضریب دبی می‌شود.

در بهترین وضعیت برای هر دو سرریز دایره‌ای و مربعی به لحاظ طول قرارگیری تیغه‌ها، سرریز مربعی در شرایط چهار تیغه و طول سرریزی ۱/۰۱ متر در مقابل جریان‌های گردابی، کمترین تأثیر را در افزایش دبی و ضریب دبی در مقایسه با سرریز مربعی با هشت تیغه و طول سرریزی ۱/۰۱ متر، دارا است.

## منابع مورد استفاده

1. Bagheri, A., M. S. Bajestan, H. M. Jahromi, H. Kashkooli and H. Sedghee. 2010. Hydraulic evaluation of the flow over polyhedral morning glory spillways. *World Applied Sciences Journal* 9(7): 712-717.
2. Christodoulou G., A. Mavrommatis and T. Papathanassiadis. 2010. Experimental study on the effect of piers and boundary proximity on the discharge capacity of a morning glory spillway. *In: Proceeding of the First European IAHR Congress.*
3. Ellesty, K. 2006. Effect of whirlpool-break blades on the discharge coefficient of the morning glory spillway. *In: Proceeding of the Irrigation and Drainage Networks National Conference, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran.*
4. Heydari Arjlou, S., S. H. Mousavi Jahromi and A. Adib. 2010. Investigation of the Effect of slope on optimal number of stairs in step spillways, *Journal of Irrigation Science and Engineering, Scientific-Agricultural* 33(2): 139-127. (In Farsi).
5. Kamanbedast, A. A. 2013. Water Structural Engineering, First Edition of Ahvaz Islamic Azad University Press.(In Farsi).
6. Kamanbedast, A. A. and S. R. Mousavi, 2016. Experimental study of the effect of number and angle of vortex on flow characteristics in square morning glory spillways, *Journal of Water and Soil Science, Science and Technology of Agriculture and Natural Resources* 20(78): 171-182. (In Farsi).
7. Kamanbedast A. 2012. The investigation of discharge coefficient for the morning glory spillway using artificial neural network. *World Applied Sciences Journal* 17(7): 913-918.
8. Kamanbedast, A., R. Mousavi and A. Barati. 2014. The effect of number and angle of guide piers on hydraulic behavior of morning glory spillway with square inlet. *AENSI Journals* ISSN-1995-0756.P. 2377-2383.
9. Kashkoli, H. A., H. Sedghi, H. M. Jahromi and R. Aghamajidi. 2013. Simultaneous Study Effect of Guide Pier and Stepped Chamber on Hydraulic Behavior of Morning Glory Spill Way. *World Applied Sciences Journal* 21(4): 548-557.
10. Mousavi, R., A. Kamanbedast and H. Fathian. 2013. Experimental investigation of the effect of number of anti-vortex piers on submergence threshold in morning glory spillway with square inlet, *Technical Journal of Engineering and Applied Sciences* 20(78): 171-182.
11. Mungasavalli, D. P. and T. Viraraghavan. 2006. Constructed wetlands for storm water management: A review. *Fresenius. Environment. Bulletin.* 15(11): 1363-1372.
12. Nohani, E. 2015. Numerical simulation of the flow pattern on morning glory spillways. *International Journal of Life Sciences* 9(4): 28 – 31.
13. Noahani, E. and R. Jamali Imam Qays. 2015. Experimental investigation of the effect of anti-vortex blades on discharge efficiency of morning glory spillway, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage* 9(5): 741-749. (In Farsi).
14. Norouzi, S. and J. Ahadian. 2015. Investigation of the effect of 45 degree gutters on discharge coefficient of morning glory spillway using Flow3D. *Irrigation Sciences and Engineering Journal of Science and Technology* 40(1) Spring 96. (In Farsi).
15. Novak, P., A. I. B. Moffat, C. Nalluri and R. Narayanan 2007. Hydraulic Structures. Published by Taylor and Francis, Fourth Edition, University of New Castle, London and New York.
16. Rostami, H., M. Heidarnejad, M. H. Purmohammadi, A. Kamanbedast and A. Bordbar. 2016. An Experimental study into discharge coefficient of labyrinth weirs with rectangular-shaped plans. *Feb-Fresenius Environment Bulletin* 25(12): 5138-5144.
17. Rouzegar, J., A. A. Kamanbedast, A. Masjedi, M. Heidarnejad and A. Bordbar. 2017. The experimental investigation of flow hydraulics in zigzag morning glory spillways. *Fresen Environ Bull* 26(3): 2389-2396.
18. Samani, M. 1997. Design of hydraulic structures. Ahwaz Dez Consulting Engineering Company Publications. (In Farsi).
19. Shirali, M., A. A. Kamanbedast, A. Masjedi, A. Bordbar and M. Heidarnejad. 2017. An experimental investigation on the effects of the shape of the cross section in morning glory spillways. *Fresenius. Environment. Bulletin* 26(11): 6532-6542.
20. Tavana, M. H. 2011. Optimization of number and direction of vortex breakers in the morning glory spillway using physical model. *Economy, Environmental and Conservation Journal* 17(2): 435-440.
21. U. S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. 1965. Design of Small Dams, Water Resources Technical Publications.
22. Vreesteg, H. K. and W. Malalasekera. 1995. An Introduction to Computational Fluid Dynamics. Longman Scientific and Technical. New York.
23. Yakhot, V. and L. M. Smith. 1992. The renormalization group. The e-expansion and of turbulence models. *Journal of Computing* 7(1): 35-61.
24. Zeraat, B., M. Heidarnejad, A. Masjedi, A. Kamanbedast and H. Hasoonizadeh. 2017. Hydraulics of arch plan labyrinth weirs with two different cycles. *Fresenius Environment Bulletin* 26(4): 2862-2867.

## The Influence of Inlet Section Geometry in Labyrinth-Morning Glory Spillways with and without Vortex Blade on Discharge Coefficient

J. Rouzegar<sup>1, 2</sup>, A. A. Kamanbedast<sup>2\*</sup>, A. Masjedi<sup>2</sup>, M. Heidarnejad<sup>2</sup> and A. Bordbar<sup>2</sup>

(Received: July 19-2017; Accepted: December 4-2017)

### Abstract

Morning glory spillway is one of the spillways that used to passing of flood from high to low level. This spillway is used in the reservoir dams that are placed in narrow valleys and in many locations with high slope in reservoir walls. In the Morning glory spillways, the vortex flow can reduce discharge, discharge coefficient and the performance of spillway. The zigzag spillway, as another type, is introduced as a proper option for compensating the problem of passing maximum possible flow rate, usually encountered by spillways. In the present study, the experimental results of a physical model were used to develop a hydraulic design with square and circle inlet and analysis method for Labyrinth Morning Glory Spillway. The analysis of experimental data in circle and square inlet showed, that increase in length of spillway and zigzag, causes decrease in the discharge coefficient. Finally the result of effect spillway inlet on flow rate demonstrate that discharge coefficient in square inlet is more than circle, whereas without vortex breaker.

**Keywords:** Square-Morning glory spillway, Discharge coefficient, Zigzag spillway, Spillway's length

---

1. Department of Water Science and Engineering, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

2. Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding Author, Email: Ka57\_amir@yahoo.com