

## مطالعه آزمایشگاهی تأثیر تعداد و زاویه گرداب شکن بر مشخصات جریان در سرریز نیلوفری مربعی

امیرعباس کمان بدست\* و سیدرضا موسوی<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۶/۲۹)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.171

### چکیده

سرریز نیلوفری یکی از انواع سرریزها است که در مواقعی که امکان استفاده از سایر سرریزها فراهم نباشد از آن استفاده می‌شود. با شروع استغراق و ایجاد افت جریان و نیز شدت یافتن جریان‌های چرخشی و گرداب‌ها، کارایی سرریز به شدت افت کرده و با کاهش شدید ضریب دبی سرریز، ارتفاع آب مخزن افزایش می‌یابد که باعث افزایش احتمال آسیب دیدن سد بر اثر عدم توانایی سرریز در تخلیه جریان‌های بزرگ می‌شود. تیغه‌های گرداب شکن برای حل این مشکل استفاده می‌شوند. در صورتی که بتوان آستانه استغراق سرریز را افزایش داد، امکان عبور جریان‌های بزرگ‌تر، بدون مستغرق شدن سرریز و بروز پیامدهای منفی آن فراهم می‌شود. علاوه بر کاربرد تیغه‌های گرداب شکن در اصلاح جریان چرخشی و گردابی، ممکن است تیغه‌ها در افزایش آستانه استغراق نیز مؤثر باشند. به منظور بررسی امکان این موضوع تعداد ۱۱۰ آزمایش به وسیله مدل فیزیکی روی سرریزهایی با مقطع مربعی و دایره‌ای و باحالت‌های مختلف تعداد و زاویه گرداب شکن انجام شد. نتایج نشان داد با افزایش تعداد تیغه‌ها آستانه استغراق افزایش می‌یابد و سرریزها ارتفاع و جریان ورودی بیشتری را بدون آن که مستغرق شوند از خود عبور می‌دهند. میزان این تأثیر در سرریز دایره‌ای بیشتر از مربعی بود، چون جریان‌های چرخشی و گردابی در سرریز دایره‌ای بیشتر است. همچنین حالت استفاده از تیغه‌های گرداب شکن با ۴ گرداب شکن و زاویه قرارگیری ۹۰ درجه بیشترین ضریب تخلیه جریان را دارند.

واژه‌های کلیدی: سرریز نیلوفری، گرداب شکن، ضریب دبی، آستانه استغراق، سرریز مربعی

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

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

## مقدمه

دبی خیلی بیشتر افزایش پیدا می‌کند. که این نشانگر افت شدید ضریب دبی سرریز (Cd) در این حالت است (شکل ۱). این امر باعث افزایش ریسک و احتمال آسیب دیدن سد بر اثر عدم توانایی سرریز در تخلیه جریان‌های ورودی بزرگ می‌شود.

طراحی سرریز نیلوفری نباید براساس شرایط پر انجام شود. با توجه به افت شدید کارایی سرریز در حالت استغراق، با افزایش آستانه استغراق، یعنی حداکثر جریانی که سرریز می‌تواند بدون این که مستغرق شود از خود عبور بدهد، می‌توان کارایی سرریز را بالا برد. همچنین خطرات احتمالی ناشی از جریان‌های خارج از ظرفیت تخلیه سرریز نیز کاهش می‌یابد. (۱ و ۹). از دیگر مشکلاتی که معمولاً در مورد جریان در سرریزهای نیلوفری پیش می‌آید، ایجاد گردابه‌ها و جریان چرخشی می‌باشد که با شروع حالت استغراق تشدید می‌شوند. در حالت ایجاد جریان چرخشی، جریان آب مسیر بیشتری را نسبت به حالتی که جریان آب به صورت قائم به خروجی سرریز می‌رسد طی می‌کند که این موجب افزایش افت انرژی آب شده و این اتلاف انرژی موجب کاهش ضریب دبی سرریز می‌شود. به منظور رفع این مشکلات از تیغه‌های گرداب‌شکن (تیغه‌های هدایت کننده جریان) استفاده می‌گردد. تیغه‌های گرداب‌شکن از طرفی با اصلاح الگوی جریان باعث کاهش جریان چرخشی و گردابه‌ها می‌شوند و از طرف دیگر در صورت افزایش آستانه استغراق موجب تأخیر در ایجاد استغراق و شدت یافتن جریان‌های چرخشی و گردابه‌ها خواهند شد. به نظر می‌رسد تأثیر دو جانبه تیغه‌ها بر افزایش آستانه استغراق و کاهش جریان‌های چرخشی و گردابه‌ها در نهایت به افزایش کارایی سرریز بیانجامد. به همین جهت در این تحقیق به بررسی تأثیر تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن در اصلاح مسیر جریان و افزایش آستانه استغراق سرریز پرداخته شده است.

از طرفی ساخت سرریزهای نیلوفری به دلیل لزوم اجرای همزمان مقطع دایره‌ای آن و منحنی اوجی دیواره، به لحاظ اجرایی سخت است و ساخت هر سرریز مستلزم صرف هزینه و زمان زیاد و استفاده از قالب‌های منحصر به فرد برای اجرای بتن

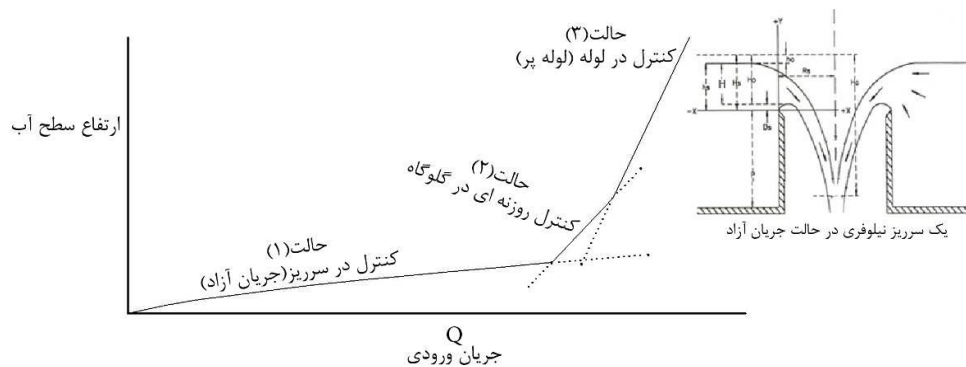
یکی از انواع سرریزهای مورد استفاده در سدها، سرریز نیلوفری می‌باشد. این سرریز در حالت معمول، از یک تاج بتنی دایره‌ای ساخته شده که جریان را به یک مجرا وصل می‌کند. این نوع سرریز زمانی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد که ساخت سایر سرریزها محدودیت داشته باشد. به عبارت دیگر در شرایط تخلیه سریع که دیگر سرریزها مناسب نیستند کارایی خوبی دارد از طرفی ساخت سرریزهای نیلوفری به دلیل لزوم اجرای همزمان مقطع دایره‌ای آن و منحنی اوجی دیواره، به لحاظ اجرایی سخت است. از اینرو راهکاری برای ساده‌سازی اجرا و به دنبال آن کاهش هزینه و زمان اجرا اتخاذ گردید و آن عبارت است از تغییر شکل مقطع ورودی سرریز از دایره‌ای به مربعی. دبی عبوی از سرریز با رابطه کلی زیر محاسبه می‌شود:

$$Q = C_d L H^{\frac{3}{2}} \quad [1]$$

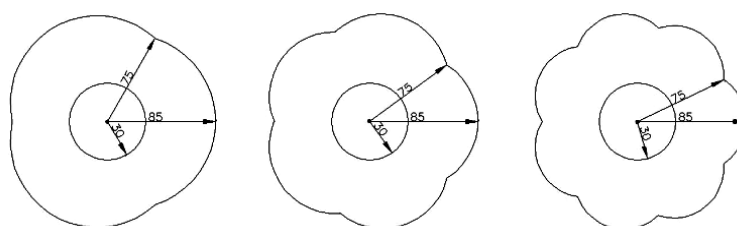
در این رابطه، Q دبی عبوری از سرریز، C<sub>d</sub> ضریب دبی سرریز (ضریب تخلیه)، L طول مؤثر سرریز و H ارتفاع آب روی سرریز می‌باشد.

برای سرریزهای دایره‌ای L طول محیط دایره در شروع منحنی اوجی می‌باشد. البته طول محیط دایره‌ای که از روی تاج سرریز عبور می‌کند می‌تواند در نظر گرفته شود، که در این صورت مقدار ضریب سرریز C<sub>d</sub> تغییر خواهد کرد. طول تاج را می‌توان برابر با πD منهای طول قسمت اشغال شده توسط جداکننده‌ها (تیغه‌های گرداب‌شکن) در صورتی که وجود داشته باشند در نظر گرفت.

جریان در سرریزهای نیلوفری به سه حالت کنترل در تاج سرریز یا حالت جریان آزاد، کنترل روزنه‌ای در گلوگاه و کنترل در لوله (لوله پر) تقسیم می‌شود (۳ و ۴). رابطه ذکر شده برای محاسبه دبی عبوری از سرریز (رابطه ۱) مربوط به حالت جریان آزاد می‌باشد. با شروع استغراق سرریز و تغییر حالت جریان از آزاد به کنترل روزنه‌ای در گلوگاه، کارایی سرریز به شدت افت می‌کند و ارتفاع آب در مخزن نسبت به افزایش



شکل ۱. نمودار دبی اشل در یک سرریز نیلوفری برای حالت‌های مختلف جریان (۳ و ۴)



شکل ۲. شکل مقاطع استفاده شده در آزمایشات باقری و همکاران

البته به نظر می‌رسد که ساخت چنین سرریزهایی در عمل با سختی‌های اجرایی همراه باشد.

کریستودولو و همکاران (۷) با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی تأثیر تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن بر ضریب دبی سرریز نیلوفری پرداختند و در تحقیق خود به ارتباط معنی‌داری بین تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن و افزایش ضریب تخلیه سرریز دست یافتند. نوحانی و موسوی جهرمی به وسیله مدل فیزیکی و انجام ۸۴ آزمایش تأثیر تعداد و ضخامت تیغه‌های گرداب‌شکن را بر بازدهی سیستم تخلیه مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش تیغه‌های گرداب‌شکن موجب افزایش ضریب دبی در سرریز نیلوفری می‌شود (۵). 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 و باعث افزایش ضریب دبی می‌شود (۶). کمان بدست با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی به بررسی تأثیر تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن بر ضریب تخلیه سرریز پرداخت که نتایج

سرریز می‌باشد. از اینرو راهکاری برای ساده‌سازی اجرا و به‌دنبال آن کاهش هزینه و زمان اجرا اتخاذ گردید و آن عبارت است از تغییر شکل مقطع ورودی سرریز از دایره‌ای به مربعی، و نیز تغییر قوس مرکب دیواره سرریز به چند شیب. از آنجا که آزمایشات در حالت آزاد انجام می‌شود، انتظار می‌رود که مشکلات کاویتاسیون پیش نیاید که البته این موضوع و راه‌حل‌های احتمالی مانند هوادهی، جای بررسی دارند.

در سرریز با مقطع مربع نیز رابطه (۱) برای محاسبه دبی عبوری کاربرد دارد. در این حالت  $L$  همچنان طول سرریز می‌باشد که برابر محیط مقطع جدید در نظر گرفته می‌شود.

باقری و همکاران به وسیله مدل فیزیکی به بررسی تأثیر تغییر هندسه تاج سرریز روی ضریب تخلیه سرریز نیلوفری پرداختند (۲). ایشان با انجام ۹۰ آزمایش مختلف روی سرریزهایی با مقطع چندوجهی (شکل ۲) دریافتند که چندوجهی کردن تاج سرریز باعث افزایش دبی عبوری و ضریب تخلیه سرریز می‌شود و بیشترین افزایش در حالت تاج سه وجهی حاصل شد.

$$Q = C\sqrt{2g}KDH^{\frac{3}{2}} \quad [4]$$

با تقسیم طرفین معادله [۴] بر عبارت  $D^{\frac{5}{2}}\sqrt{2g}$  معادله زیر به دست می‌آید:

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

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

هستند. با توجه به اینکه هر ضریب و توانی از عدد بدون بعد،

خود عددی بدون بعد است، برای رسم نمودارها از  $\left(\frac{H}{D}\right)$ ، و نیز

$$N, C_d \text{ و } \frac{Q}{D^{\frac{5}{2}}\sqrt{2g}} \text{ استفاده می‌شود.}$$

### مواد و روش

این تحقیق با استفاده از مدل فیزیکی انجام شده است. 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) و یک وجه شیشه‌ای 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 را به صورت آرام و یکنواخت از جهات مختلف وارد مدل می‌کرد. آب به واسطه یک پمپ گریز از مرکز از مخزن تأمین آب به مدل هدایت می‌شد. در مسیر لوله خروجی پمپ، یک شیر کنترل جهت تنظیم آب ورودی به مدل، و یک دستگاه کنتور دیجیتال جهت 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

تحقیق وی نشان از تأثیر مثبت تیغه‌ها بر ضریب دبی دارد (۸). در تحقیقات انجام شده فوق‌الذکر سرریزها با مقطع دایره‌ای ساخته شده‌اند. در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن بر ضریب دبی سرریز با مقطع مربع و در حالت کنترل در تاج سرریز پرداخته شده است. همچنین یک سری آزمایشات روی سرریز دایره‌ای به عنوان شاهد انجام شده است.

### آنالیز ابعادی و استخراج اعداد بدون بعد

رابطه محاسبه دبی عبوری از سرریز که پیشتر مطرح شد (رابطه ۱)، به شکل رابطه ۲ نیز قابل بیان است.

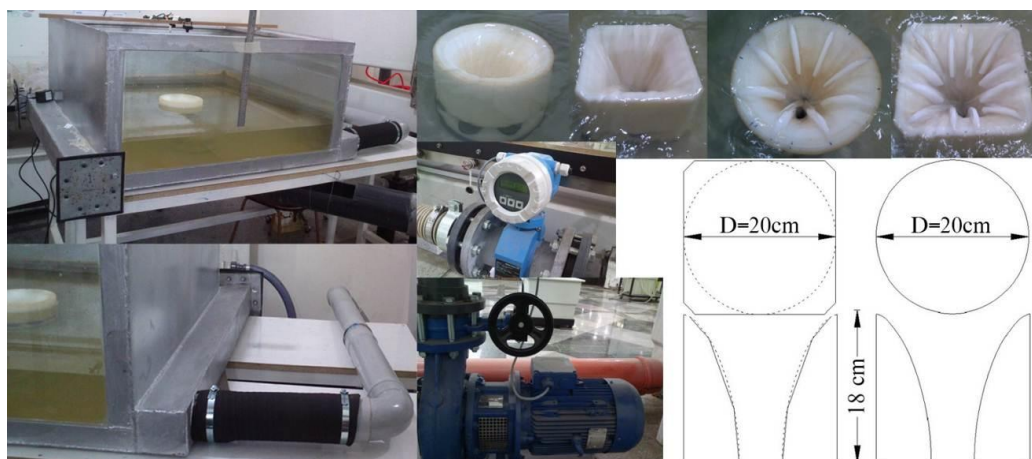
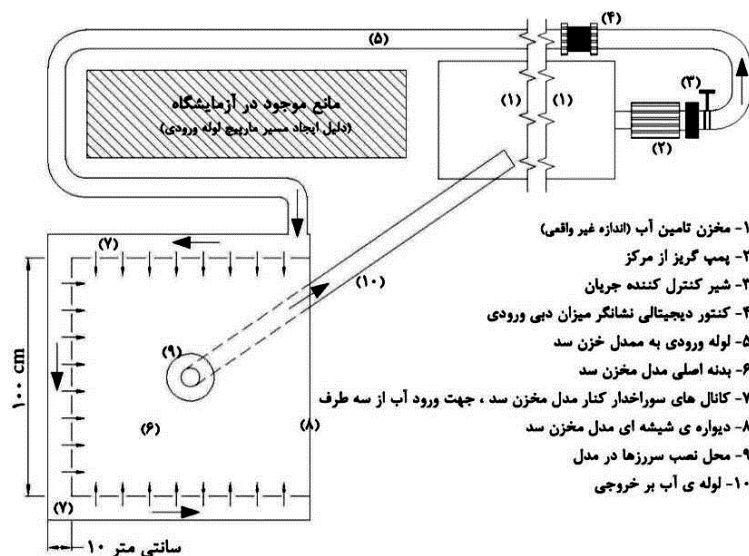
$$Q = C\sqrt{2g}LH^{\frac{3}{2}} \quad [2]$$

در این رابطه  $Q$  دبی برحسب مترمکعب بر ثانیه،  $C$  ضریب تخلیه سرریز بدون بعد،  $g$  شتاب ثقل برحسب متر بر مجذور ثانیه،  $L$  طول سرریزی برحسب متر و  $H$  ارتفاع آب روی سرریز برحسب متر می‌باشد.

در شرایط استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن، پارامتر بدون بعد  $N$  (تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن) نیز بر جریان تأثیر می‌گذارد.

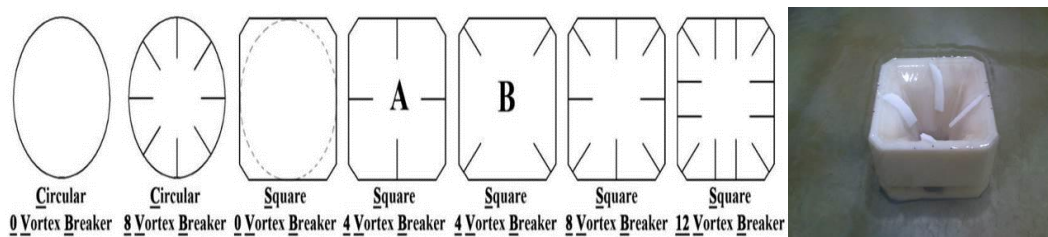
$$Q = f(C, gL, H, N) \quad [3]$$

درواقع رابطه اصلی محاسبه دبی سرریز رابطه (۲) می‌باشد. چرا که در این حالت ضریب دبی عددی بدون بعد می‌شود ولی از آنجا که حاصل عبارت  $\sqrt{2g}$  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  $B^4$  که  $B$  طول یک ضلع مربع است. در این تحقیق ابعاد سرریز مربعی ساخته شده به گونه‌ای فرض شده 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  $D^4$  می‌شود. حال پارامتر  $k$  را به عنوان ضریب عدد  $D$  معرفی می‌کنیم، یعنی طول 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:

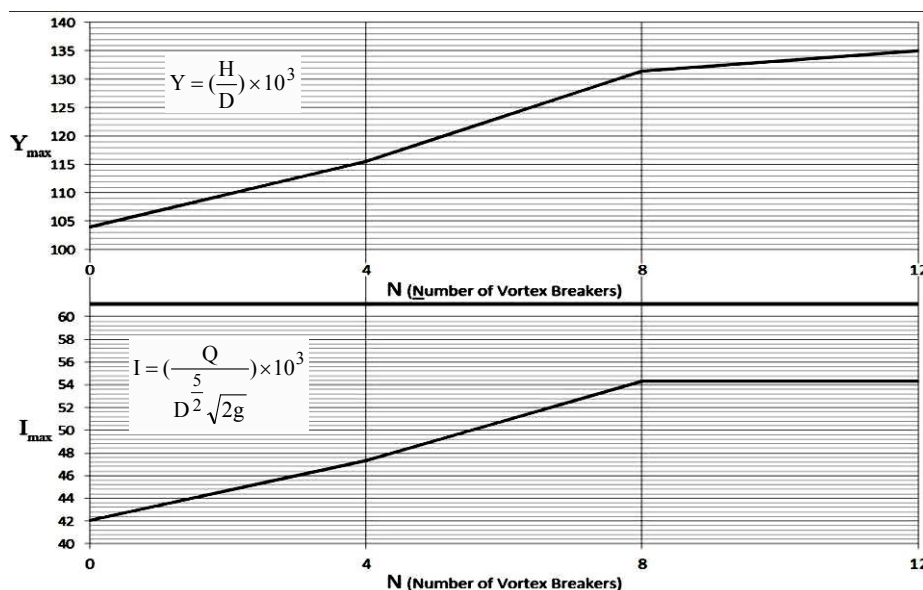


گوشه‌های تیز مربع، چهارگوشه سرریز با زاویه ۴۵ درجه اندکی پخ شد. با محاسبه طول سرریز مربعی در نرم‌افزار اتوکد، پارامتر  $k$  (ضریب  $D$  در محاسبه طول سرریزها به قسمت آنالیز ابعادی مراجعه شود) برابر با  $3/75$  به دست آمد. همچنین در طراحی دیواره‌های سرریز مربعی هر قوس از دیواره سرریز دایره‌ای به چند شیب تقسیم شد. به طوری که مجموعه شیب‌های حاصل انطباق خوبی با قوس مرکب دیواره سرریز دایره‌ای داشته باشد. تیغه‌های گرداب‌شکن نیز همگی از جنس پلکسی گلاس سفید ساخته شد. شکل (۴) مجموعه تصاویری از جزئیات مدل می‌باشد.

لوله خروجی به مخزن تأمین آب بازگردانده می‌شد. شکل (۳) طرح شماتیک مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. یک سرریز دایره‌ای به ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر، و قطر تاج ۲۰ سانتی‌متر با مقیاس ۱:۱۴۰ از سرریز سد ویسکی تاون واقع در ایالت کالیفرنیا ایالات متحده آمریکا ( $36^{\circ}2'02''N$   $122^{\circ}32'11/62''W$ ) و از جنس پلی‌اتیلن طراحی و ساخته شد. یک سرریز با مقطع مربع نیز از جنس مشابه و با ارتفاعی برابر با سرریز دایره‌ای و طول ضلعی معادل قطر تاج سرریز دایره‌ای (۲۰ سانتی‌متر) طراحی و ساخته شد. در طراحی سرریز مربعی به منظور کاهش افت ناشی از



شکل ۵. شکل شماتیک حالات مختلف سرریز و تعداد و زاویه تیغه‌های گرداب‌شکن در آزمایشات



شکل ۶. تأثیر تعداد گرداب‌شکن‌ها بر ارتفاع (بالا) و میزان جریان عبوری (پایین) در آستانه استغراق

شماره (۱)، ضریب دبی ( $C_d$ ) مربوط به هر دبی و ارتفاع به‌دست آمد.

### نتایج و بحث

در ادامه نتایج حاصل از تحلیل داده‌های آزمایشگاهی ارائه می‌گردد. 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 نتایج ارائه شده، جهت سهولت در نگارش، عبارت  $\frac{Q}{D^2 \sqrt{2g}} \times 10^3$  با نماد  $I$  و عبارت

در این تحقیق با استفاده از مدل فیزیکی تعداد ۱۱۰ آزمایش در محدوده دبی ۲۵ تا ۲۵۰ لیتر در دقیقه بر روی سرریز مربعی و دایره‌ای با حالت‌های مختلف تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن انجام شد (شکل ۵) که در هر آزمایش، مقادیر مختلف دبی ( $Q$ ) و ارتفاع آب روی سرریز ( $H$ ) برداشت شد. برداشت داده‌ها تا ظاهر شدن اولین نشانه‌های استغراق یعنی ایجاد گردابه‌های مارپیچ در محور سرریز ادامه پیدا کرد و آخرین داده برداشت شده به عنوان عدد آستانه استغراق در نظر گرفته شد. همچنین به کمک نرم‌افزار اکسل برای هر حالت از آزمایشات، نمودار و معادله دبی اشل به روش برازش توانی به دست آمد. از نمودارها و معادلات، تعداد ۷ دبی ثابت و ارتفاع نظیر آنها برای تمام حالات استخراج شد و پس از انجام محاسبات مربوط به تبدیل واحدها و همچنین محاسبه طول مؤثر سرریز، از طریق رابطه

جدول ۱. مشخصات جریان در آستانه استغراق در بهترین حالت تعداد گرداب‌شکن

نوع سرریز	مشخصات جریان	بدون گرداب‌شکن	با بهترین تعداد گرداب‌شکن	درصد افزایش
مربعی	$Y_{max}$	۱۰۴	۱۳۵	۲۹/۸
	$I_{max}$	۴۲/۱	۵۴/۳	۲۹/۲
دایره‌ای	$Y_{max}$	۸۹/۵	۱۱۸	۳۱/۸
	$I_{max}$	۲۹/۸	۴۵/۶	۵۲/۹

گرفت که افزایش ارتفاع آب در حالت ۱۲ گرداب‌شکن نشانگر تأثیر منفی تعداد تیغه‌ها از یک حد به بعد می‌باشد چرا که با افزایش تعداد تیغه‌ها از یک حد به بعد، تیغه‌ها با وجود اصلاح جریان، خود به صورت مانعی موجب ایجاد افت در مسیر جریان می‌شوند و اثر این افت بیش از اثر اصلاحی گرداب‌شکن‌ها است و خود را به صورت ارتفاع گرفتن آب نشان می‌دهد و از آنجا که محدودیت ارتفاع آب برای مخازن سدها وجود دارد، این موضوع می‌تواند مساله ساز شود.

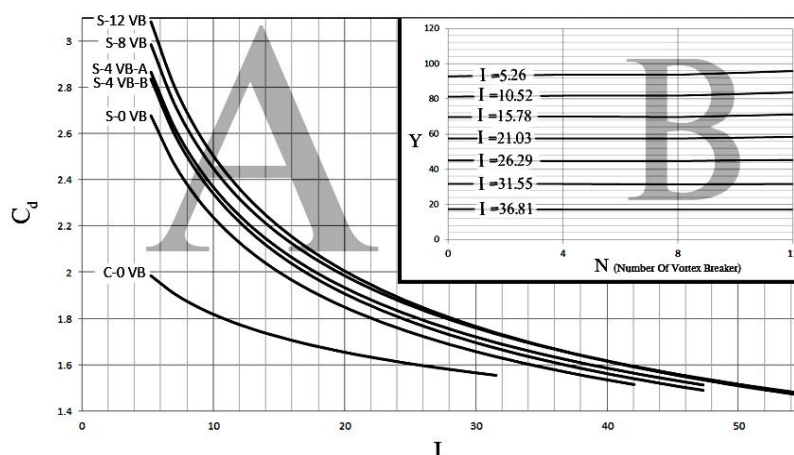
در جدول (۱) میزان حداکثر جریان ورودی ( $I$ ) و ارتفاع آب ( $Y$ ) در شرایط جریان آزاد (آستانه استغراق) برای حالت بهترین تعداد گرداب‌شکن و حالت بدون گرداب‌شکن در هر دو سرریز مربعی و دایره‌ای آورده شده است. همچنین درصد افزایش مقادیر  $I$  و  $Y$  در بهترین حالت نسبت به حالت بدون گرداب‌شکن در این جدول آمده است. طبق نتایج کل آزمایشات، آستانه استغراق برای سرریز مربعی در حالت ۱۲ گرداب‌شکن و برای سرریز دایره‌ای در حالت ۸ گرداب‌شکن بهترین مقدار خود را داشته است.

طبق جدول (۱) افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها موجب افزایش ظرفیت پذیرش جریان ورودی و ارتفاع آب قبل از شروع استغراق در هر دو نوع سرریز مربعی و دایره‌ای می‌شود. این افزایش در بهترین حالت تعداد گرداب‌شکن در سرریز مربعی، به میزان ۲۹/۸ درصد برای ارتفاع آب و ۲۹/۲ درصد برای جریان ورودی، و در بهترین حالت تعداد گرداب‌شکن در سرریز دایره‌ای، به میزان ۳۱/۸ درصد برای ارتفاع آب و ۵۲/۹ درصد برای جریان ورودی بوده است. همچنین نتایج نشان

$\times 10^3 \left(\frac{H}{D}\right)$  با نماد  $Y$  نشان داده شده است. ضرب کردن اعداد بدون بعد در  $10^3$  به دلیل کوچک بودن این اعداد بوده است.

در نمودارهای شکل بالا مقادیر  $Y_{max}$  و  $I_{max}$  در آستانه استغراق - که در واقع حداکثر ارتفاع و جریان ورودی در حالت آزاد (کنترل در سرریز) است به‌ازای حالت‌های مختلف تعداد گرداب‌شکن آورده شده است. لازم به توضیح است که در مورد حالت ۴ گرداب‌شکن، از حالت S-۴VB-A که دارای شرایط مناسب‌تر بود استفاده شده است. در طبق این نمودارها افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها موجب افزایش ارتفاع آب و جریان ورودی آستانه استغراق سرریز (قبل از آغاز مستغرق شدن) می‌شود. به عبارت دیگر با افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها، بدون اینکه سرریز مستغرق شود و مشکلاتی از قبیل کاهش شدید ضریب دبی و ایجاد گرداب‌های شدید و خطرناک که موجب افزایش ریسک آسیب دیدن سرریز و نهایتاً کل سد می‌شوند برای آن پیش بیاید، جریان بیشتری را از خود عبور می‌دهد و ارتفاع آب بیشتری را تجربه و در واقع تحمل می‌کند. که این به نوعی بیانگر افزایش ظرفیت عبور جریان سرریز می‌باشد.

با وجود تأثیر مثبت افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها، در نمودار مشاهده می‌شود که مقدار  $I_{max}$  برای حالت‌های ۸ و ۱۲ گرداب‌شکن، تغییری نداشته است. یعنی کارایی هر دو حالت یکسان است. در همین بازه یعنی حالات ۸ و ۱۲ گرداب‌شکن، مشاهده می‌شود که مقدار  $Y_{max}$  برای حالت ۱۲ گرداب‌شکن بیش از ۸ گرداب‌شکن است. در نگاه اول این افزایش مثبت به نظر می‌رسد اما با عنایت به این مسئله که هر دو ارتفاع، در میزان جریان ورودی یکسانی اتفاق افتاده است، می‌توان نتیجه



شکل ۷. جریان ورودی و ضریب سرریز با تعداد مختلف گرداب‌شکن (سری A)، تأثیر تعداد گرداب‌شکن‌ها بر ارتفاع آب (سری B)

جریان ورودی ثابت تأثیر چندانی بر ارتفاع آب ندارند. البته این مسئله با توجه به اینکه در سرریز مربعی طبق مشاهدات هنگام آزمایشات، جریان چرخشی بسیار ناچیز بود، قابل توجیه است. اما در مورد افزایش ضریب دبی به‌ازای یک جریان ورودی ثابت که در نمودارهای سری A مشهود است، دلیل آن است که در رابطه محاسبه جریان در سرریز (رابطه ۱) طول مورد استفاده در رابطه، طول مؤثر است که حاصل کم کردن ضخامت گرداب‌شکن‌ها از طول سرریز است. این موضوع باعث می‌شود که با افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها، طول مؤثر سرریز کمتر شود و به‌ازای یک جریان ورودی و ارتفاع ثابت، با افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها، به دلیل کاهش طول مؤثر، مقادیر ضریب دبی بیشتر شوند.

شکل اخیر نتایج قبلی مبنی بر افزایش  $I_{max}$  و  $Y_{max}$  به‌ازای افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها، و بیشتر بودن این مقادیر در سرریز مربعی نسبت به سرریز دایره‌ای را تأیید می‌کند.

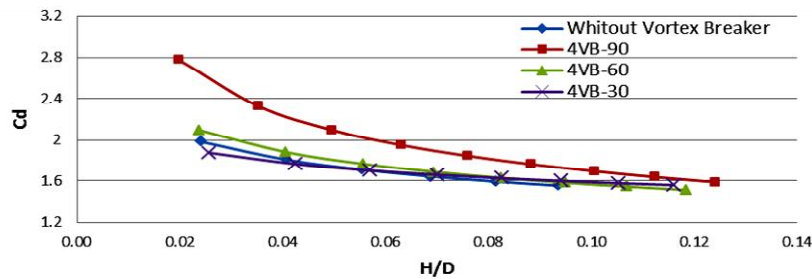
همان‌گونه که در شکل (۸) نیز دیده می‌شود، روند تغییرات نسبت استغراق در برابر ضریب تخلیه سرریز، در محدوده آزمایشات نزولی است و با افزایش نسبت استغراق، کاهش ضریب تخلیه مشاهده می‌شود. در واقع افزایش نسبت استغراق، نشان‌دهنده کاهش بازدهی در سرریز نیلوفری می‌باشد. با توجه به نمودارهای مقایسه‌ای (شکل‌های ۸ و ۹)، می‌توان نتیجه گرفت که قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن تحت زاویه

می‌دهد که تأثیر تعداد گرداب‌شکن در سرریز دایره‌ای بیشتر از سرریز مربعی است (قریب به دو برابر سرریز مربعی). دلیل این مسئله آن است که در سرریز مربعی جریان چرخشی کمتر مشاهده می‌شود و از آنجاکه اصلاح جریان چرخشی از وظایف گرداب‌شکن‌ها است، لذا گرداب‌شکن‌های نصب شده بر سرریز دایره‌ای این عمل را بیشتر انجام می‌دهند. با این حال مقادیر  $I_{max}$  و  $Y_{max}$  در سرریز مربعی هم در حالت بدون گرداب‌شکن و هم در حالت بهترین تعداد گرداب‌شکن، بیشتر از سرریز دایره‌ای است.

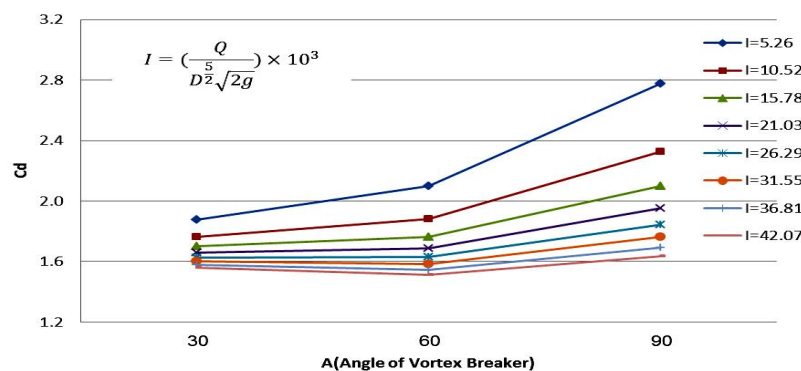
موضوع قابل توجه دیگر در تحلیل نتایج این است که علی‌رغم افزایش ضریب دبی به‌ازای افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها در سرریز مربعی (شکل ۷ نمودارهای سری A)، با رسم نمودارهای تأثیر تعداد گرداب‌شکن‌ها بر  $Y$  در جریان‌های ورودی ثابت، مقادیر  $Y$  با افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها ثابت می‌ماند (شکل ۷ نمودارهای سری B). البته با افزایش جریان ورودی،  $Y$  افزایش می‌یابد.

در نمودارهای سری A، برای سرریز مربعی به‌ازای یک جریان ورودی ثابت، با افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها، ضریب دبی افزایش می‌یابد و به نظر می‌رسد با توجه به اینکه اندازه سرریز در این حالات ثابت است، این افزایش باید ناشی از کاهش ارتفاع آب به‌ازای افزایش تعداد گرداب‌شکن‌ها باشد. ولی نمودارهای سری B بیانگر آن است که تعداد تیغه‌ها در یک





شکل ۸. تغییرات ضریب تخلیه نسبت به عمق‌های استغراق در حالت کنترل تاج برای سرریز نیلوفری



شکل ۹. تغییرات ضریب تخلیه نسبت به زاویه قرارگیری تیغه‌های گرداب‌شکن در حالت کنترل تاج برای سرریز نیلوفری

ضریب تخلیه و حالت بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن کمترین ضریب تخلیه جریان را دارند.

#### مقایسات

طبق نمودارهای حالات مختلف تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن، با استفاده از این تیغه‌ها، ضریب دبی افزایش می‌یابد و با افزایش تعداد تیغه‌ها تا حدی مشخص، تغییرات ضریب دبی افزایشی است و پس از آن تعداد، ضریب دبی کاهش می‌یابد. همچنین، تأثیر تیغه‌های گرداب‌شکن در افزایش ضریب دبی، در جریان‌های ورودی کم، بیشتر از جریان‌های ورودی زیاد است. نوحانی (۵)، با استفاده از جداول و نمودارهایی به کاهش ضریب دبی، با افزایش جریان ورودی اشاره کرده است. همچنین در نتایج خود تأثیر مثبت تیغه‌های گرداب‌شکن را بر افزایش ضریب دبی در جریان‌های ورودی مختلف بیان کرده است. ضمناً دلیل کاهش ضریب دبی با افزایش جریان ورودی این است که با افزایش جریان ورودی به دلیل تنگ‌تر بودن

۹۰ درجه بیشترین تأثیر را بر کاهش گرداب و در نتیجه افزایش ضریب تخلیه جریان به ازای یک عمق استغراق ثابت داشته است. در مورد علت این موضوع باید گفت که زاویه قرارگیری تیغه‌ها در واقع تعیین کننده زاویه خطوط جریان پس از شکسته شدن توسط تیغه‌ها می‌باشد. قرارگیری تیغه‌ها با زاویه ۹۰ درجه باعث شکسته شدن خطوط جریان و انحراف آنها به صورت مسیر مستقیم به سمت خروجی می‌شود. اما در مورد زاویه ۶۰ درجه، مسیر جریان با برخورد به تیغه‌ها بیش از ۹۰ درجه منحرف می‌شود و تا حدودی معکوس شده که این موضوع خود باعث ایجاد افت می‌شود. برای زاویه ۳۰ درجه این افت شدیدتر می‌باشد. در نتیجه زاویه ۹۰ درجه بهترین و زاویه ۳۰ درجه بدترین حالت قرارگیری تیغه‌ها از نظر بهبود ضریب دبی می‌باشد. لازم به ذکر است که ضریب تخلیه جریان در حالت استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن در همه زوایا بیشتر از حالت بدون تیغه می‌باشد. پس در مورد کل آزمایشات، حالت استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه بیشترین

دایره‌ای بیشتر از سرریز مربعی است. با این حال این مقادیر در همه حالات تعداد گرداب‌شکن در سرریز مربعی بیش از سرریز دایره‌ای بود.

۴. حالت استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن با زاویه قرارگیری ۹۰ درجه بیشترین ضریب تخلیه و حالت بدون استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن کمترین ضریب تخلیه جریان را دارند.

با توجه به نتیجه‌گیری‌های فوق در یک نگاه کلی می‌توان مقطع مربع را با توجه به سهولت ساخت و کاهش هزینه و زمان انجام پروژه نسبت به سرریز با مقطع دایره، به‌عنوان یک گزینه پیشنهادی مناسب برای جایگزینی با سرریزهای نیلوفری با مقطع دایره به‌منظور تحقیق و بررسی بیشتر معرفی کرد. چرا که اعلام نظر قطعی و توصیه‌های ساخت، انجام تحقیقات و آزمایشات بیشتری را می‌طلبد.

### سپاسگزاری

تحقیق حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشجوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می‌باشد. بدین‌وسیله از حمایت‌های دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز از این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.

خروجی سرریز نسبت به ورودی و همگرا شدن جریان در قسمت گلوگاه سرریز، افتی در جریان ایجاد می‌شود و ضریب دبی کاهش می‌یابد. همچنین در این حالت ایجاد جریان‌های گردابی و چرخشی موجب کاهش ضریب دبی می‌شود که همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با استفاده از تیغه‌های گرداب‌شکن و اصلاح مسیر جریان، ضریب دبی افزایش می‌یابد.

### نتیجه‌گیری نهایی

نتایج حاصل از انجام این تحقیق، به‌اختصار به این شرح است:  
۱. با افزایش تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن در سرریز مربعی، سرریز مقدار جریان ورودی بیشتری را قبل از شروع استغراق از خود عبور می‌دهد. به‌عبارت دیگر استغراق سرریز به‌ازای مقادیر بیشتری از جریان ورودی و ارتفاع آب روی سرریز اتفاق می‌افتد.

۲. افزایش تعداد تیغه‌های گرداب‌شکن تا یک حد مشخص می‌تواند موجب بهبود مشخصات جریان (ازجمله جریان در شرایط استغراق) شود و بعد از آن تیغه‌ها خود به‌عنوان مانع در مسیر جریان موجب ایجاد افت در مسیر جریان می‌شوند. موسوی و همکاران نیز نتیجه مشابه بیان کرده‌اند. (۱۰).

۳. تأثیر گرداب‌شکن‌ها بر افزایش مقادیر  $I_{max}$  و  $Y_{max}$  در سرریز

### منابع مورد استفاده

۱. محمدولی سامانی، ح. ۱۳۸۷. طراحی سازه‌های هیدرولیکی. شرکت مهندسی مشاور دز آب، اهواز.
۲. باقری، ع.، ف. یوسف‌وند، و م. ه. توانا. ۱۳۹۱. تأثیر تغییر هندسه تاج سرریز روی ضریب تخلیه سرریز نیلوفری. مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.
۳. بیرامی، م. ک. ۱۳۷۹. سازه‌های انتقال آب. چاپ سوم انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
۴. کمان بدست، ا. ع. ۱۳۹۲. مهندسی سازه‌های آبی. چاپ اول، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز.
۵. نوحانی، ا. و ح. موسوی جهرمی. ۱۳۸۸. تأثیر تعداد و ضخامت تیغه‌های گرداب‌شکن بر روی ضریب تخلیه سرریز نیلوفری. مجموعه مقالات همایش ملی علوم آب خاک گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
۶. موسوی جهرمی، ح. و ک. الستی. ۱۳۸۵. تأثیر تیغه‌های گرداب‌شکن بر جریان سرریزهای نیلوفری. مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

7. 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. The First European IAHR Congress.
8. Kamanbedast, A. 2012. The investigation of discharge coefficient for the Morning Glory spillway using artificial neural network. J. World Applied Sci. 17(7): 913-918.
9. U. S. Department of the Interior Bureau of Reclamation. 1965. Design Of Small Dams. Water Resources Technical Publications.
10. Mousavi, R., A. 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, Tech. J. Eng. & Applied Sci. 3(24): 3534-3540.

## Experimental investigation of the effect of number and angle of anti-vortex piers in morning glory spillway with square inlet

A. A. Kamanbedast\* and S. R. Mousavi<sup>1</sup>

(Received: Feb. 20-2014 ; Accepted: Sep. 19-2016)

DOI: 10.18869/acadpub.jstnar.20.78.171

### Abstract

Morning glory spillway is one of the spillways and used when it is not possible to use any other spillways. With the onset of submergence and flow loss, and intensification of circulation and vortices, spillway performance decreases severely. With decreasing discharge coefficient, the height of water in the reservoir increases and the risk of dam damage, caused by the lack of spillway ability of great flow discharge, increases. Anti-vortex piers are used to solve this problem. The increase of the submergence threshold can provide ability of greater flow discharging, without spillway submergence and its negative consequences. Anti-vortex piers, in addition to correcting circulation and vortices, may also be effective in increasing the submergence threshold. To investigate this possibility, 110 experiments were performed with the physical model on spillways with square and circular inlet section in different modes and number of anti-vortex piers. Results show that increasing number of Anti-vortex piers increases the submergence threshold and spillway can discharge greater inflow and height of water without being submerged. The effect of the overflow of the circle shape, because currents and vortices spinning in a circle overflow is higher than square spillway. Also the maximum discharge coefficient was observed when 4 vortex breakers were installed at the angle of 90 degrees.

**Keywords:** Morning glory spillway, Anti-vortex piers, Discharge coefficient, Submergence threshold, Square spillway.

---

1. Dept. Water sci. and Eng., Ahwaz Branch, Islamic Azad Univ. (IAU), Ahwaz, Iran.

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