

## مطالعه آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای مستطیلی

مانی رضایی<sup>۱\*</sup> - علیرضا عمادی<sup>۲</sup> - قاسم آقاجانی مازندرانی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۱/۲۴

### چکیده

سرریزهای کنگره‌ای در یک دبی یکسان نسبت به یک سرریز مستقیم به ارتفاع آزاد کمتری در بالادست نیاز دارند، از اینرو استفاده از آنها در شبکه‌های آبیاری مناسب‌تر است. سرریز کنگره‌ای دارای سه شکل کلی مثلثی، دوزنقه‌ای و مستطیلی است که مطالعه محدودی روی شکل مستطیلی انجام شده و خصوصیات هیدرولیکی آن بطور کامل مشخص نشده است. در این پژوهش رابطه دبی جریان و ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با استفاده از تحلیل ابعادی استخراج و برای تعیین ضریب‌های ثابت رابطه‌ها از مدل فیزیکی استفاده شده است. داده‌ها با استفاده از نرم افزار SPSS تحلیل و شاخص‌های آماری مجذور میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج نشان داد رابطه‌ای که از اکثر پارامترهای موثر استفاده شده نتایج دقیق‌تری پیش‌بینی می‌کند و برای طراحی قابل پیشنهاد است. برای ارتفاع آب بالادست ثابت دبی سرریز کنگره‌ای حداکثر ۲/۶ برابر دبی سرریز مستقیم و در دبی ثابت، ارتفاع آب بالادست سرریز مستقیم ۱/۸ برابر ارتفاع آب بالادست سرریز کنگره‌ای است، بنابراین استفاده از سرریز کنگره‌ای برای مناطقی که محدودیت ارتفاع و دبی وجود دارد پیشنهاد می‌شود. بهترین محدوده برای نسبت H/P برای طراحی بین ۰/۲۰ تا ۰/۴۰ است که حداکثر ضریب دبی در این محدوده قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: تحلیل ابعادی، ضریب دبی، سرریز مستقیم

### مقدمه

دبی را افزایش داد.

افزایش عرض سرریز به دلیل هندسه سد و هزینه غیرعملی است، همچنین با کاهش ارتفاع کل سرریز ارتفاع نرمال مخزن و در نتیجه حجم ذخیره مخزن کاهش می‌یابد. بنابراین این دو روش برای افزایش راندمان دبی مناسب نیستند اما در یک عرض ثابت با جایگزینی سرریز غیرخطی با سرریز طول تاج سرریز و در نتیجه دبی افزایش می‌یابد. یک نوع از سرریزهای غیرخطی سرریز کنگره‌ای می‌باشد که در پلان دارای خطوط شکسته و دیوارهای پیوسته است و به‌طور کلی به‌صورت دوزنقه‌ای، مثلثی و مستطیلی ساخته می‌شوند که در شکل ۱ نشان داده شده است.

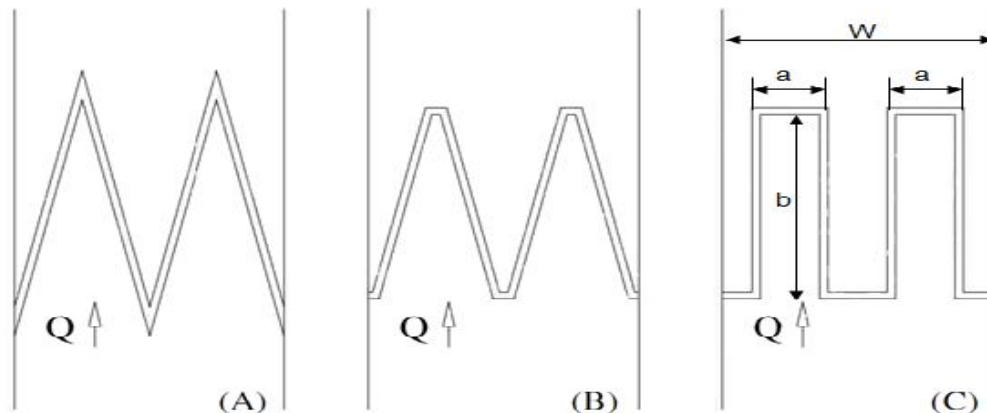
اولین بار تیلور (۱۴) به‌طور گسترده‌ای رفتار هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای با شکل تاج نیم‌دایره‌ای و لبه تیز را بررسی کرد. نتایج نشان داد که بازده سرریز کنگره‌ای در ارتفاع‌های کم آب بالادست، بهتر است و دبی بیشتری نسبت به سرریزهای خطی عبور می‌دهد.

هی و تیلور (۶) نسبت دبی سرریز کنگره‌ای به سرریز خطی را معرفی کردند که بر این اساس روشی برای طراحی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای و مثلثی ارائه کردند. همچنین پیشنهاد کردند در شرایط استعراق از سرریز کنگره‌ای استفاده نشود، چون فضای هوادهی زیر جت آب از بین می‌رود.

به‌منظور کنترل سطح آب در کانال‌های آبیاری از دریچه‌ها و سرریزها استفاده می‌شود. انواع مختلفی از سرریزها در شبکه‌های آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌توان به سرریزهای لبه تیز، لبه پهن، نوک اردکی و ... اشاره نمود، سرریز کنگره‌ای یکی از سرریزهای است که با توجه به طول زیاد آن تغییرات ارتفاع آب بالادست نسبت به دبی در آن کمتر می‌باشد و برای استفاده در شبکه‌های آبیاری مناسب است.

همچنین با درخواست افزایش آب ذخیره مخازن، حداکثر باران محتمل و نیاز مداوم به امنیت سد اکثر سرریزهای موجود کوچک بوده و نیاز به اصلاح دارند. چون دبی سرریزهای آزاد تابعی از طول تاج، ارتفاع آب بالادست و شکل تاج سرریز است و محدودیت در ارتفاع آب بالادست وجود دارد. به سه روش افزایش عرض سرریز، کاهش ارتفاع تاج سرریز و افزایش طول در جای سرریز موجود به‌وسیله جایگزینی سرریز خطی موجود با سرریز غیرخطی می‌توان راندمان

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشیار و مربی گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
(Email: manni.rezaee@yahoo.com) \* - نویسنده مسئول



شکل ۱- سرریزهای کنگره‌ای A: مثلثی، B: دوزنقه‌ای و C: مستطیلی

W: عرض کانال، a: عرض دماغه و b: طول دماغه (نمای بالا)

Figure 1- labyrinth weirs A: Triangular, B: Trapezoidal and C: Rectangular  
W: channel width, a: apex width and b: apex length (top view)

تاج نیم‌دایره‌ای بیشتر از شکل تاج ربع دایره‌ای، صاف و لبه تیز است. مگالهاس و لورنا (۱۱) منحنی‌های شبیه منحنی‌های دارواس برای شکل تاج اوجی را توسعه دادند و رابطه‌ای بی‌بعد برای ضریب دبی ارائه کردند. نتایج تاکال و همکاران (۱۳) نشان داد که در عرض‌های مشابه سرریزهای کنگره‌ای دو سیکلی نسبت به سرریزهای کنگره‌ای سه سیکلی بهتر عمل می‌کنند. آن‌ها همچنین نشان دادند که جریان عبوری از روی سرریزهای کنگره‌ای نسبت به سرریزهای درپچه‌دار ایمن‌تر و اقتصادی‌تر است. والدرون (۱۷) مدل فیزیکی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای و خطی را آزمایش کرد و نشان داد که ضریب دبی مستقل از تعداد سیکل کنگره‌ای است و حداکثر ضریب دبی جایی است که حداکثر مقدار هوادهی وجود داشته باشد. پیشنهاد کرد از متوسط ضریب دبی برای طراحی استفاده شود. تالیس و همکاران (۱۵) آزمایشاتی روی سرریز کنگره‌ای با زاویه‌های کناری مختلف انجام داده و رابطه (۳) را برای ضریب دبی بدست آوردند.

$$C = A_1 + A_2 \left(\frac{H}{P}\right) + A_3 \left(\frac{H}{P}\right)^2 + A_4 \left(\frac{H}{P}\right)^3 + A_5 \left(\frac{H}{P}\right)^4 \quad (3)$$

که در این رابطه  $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$  ضرایب ثابت هستند.

این پژوهشگران اظهار داشتند با استفاده از رابطه (۳) و رابطه (۴) که فرمول دبی سرریز خطی است می‌توان مقدار دبی سرریز کنگره‌ای را تخمین زد.

دارواس (۳) براساس مدل فیزیکی سدهای آون و ورونوا منحنی-های طراحی سرریز کنگره‌ای را توسعه داده و رابطه تجربی (۱) را ارائه کرد.

$$C = \frac{Q}{w \cdot H^{1.5}} \quad (1)$$

که  $C$ : ضریب دبی ( $\text{ft}^{0.5}/\text{sec}$ )،  $Q$ : دبی سرریز کنگره‌ای ( $\text{ft}^3/\text{sec}$ )،  $w$ : عرض کل سرریز کنگره‌ای ( $\text{ft}$ ) و  $H$ : ارتفاع کل بالادست است.

لاکس (۹) بر پایه مطالعات آزمایشگاهی رابطه (۲) را برای محاسبه دبی سرریز کنگره‌ای مثلثی و دوزنقه‌ای پیشنهاد کرد.

$$Q_x = C \cdot \left( \frac{w \cdot H^{1.5}}{w \cdot H^{1.5} + k} \right) \cdot \sqrt{g \cdot H} \quad (2)$$

در این رابطه  $w$ : عرض یک سیکل سرریز کنگره‌ای،  $P$ : ارتفاع سرریز ( $m$ )،  $H$ : ارتفاع کل آب بالادست ( $m$ )،  $g$ : شتاب ثقل ( $m/s^2$ )،  $Q_x$ : دبی یک سیکل سرریز کنگره‌ای ( $m^3/s$ ) و  $k$ : ضریب شکل که برای نما از بالای مثلثی و دوزنقه‌ای به ترتیب  $0.18$  و  $0.1$  است.

لاکس و هینچللف (۱۰) با استفاده از نتایج تجربی و تحلیل ابعادی روش طراحی ساده‌تری با نسبت عرض سیکل به ارتفاع سرریز بزرگ‌تر از ۲ ارائه کردند. نتایج کاسیدی و همکاران (۲) نشان داد که راندمان سرریزهای کنگره‌ای در مقادیر بالای ارتفاع آب بالادست به طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیری است که مطالعات دیگر نشان می‌دهد. امانیان (۱) سرریزهای خطی و کنگره‌ای مثلثی با تاج نیم-دایره‌ای را بررسی کرد. نتایج نشان داد که راندمان دبی سرریز کنگره-ای با افزایش ارتفاع کل آب بالادست کاهش می‌یابد و راندمان شکل

$[M/T^2]$ ، ویسکوزیته دینامیکی  $[\mu]$   $[M/(LT)]$ ، چگالی  $(\rho)$   $[L/T^3]$  و دبی  $(Q)$   $[L^3/T]$  است. با استفاده از روش باکینگهام پارامترهای موثر به صورت رابطه (۵) به دست آمد.

$$f(\text{Re}, \text{We}, \frac{v}{gh}, \frac{h}{L}, \frac{h}{t}, \frac{h}{W}, \frac{h}{a}) = 0 \quad (6)$$

در این رابطه،  $\text{Re}$ : عدد رینولدز،  $\text{We}$ : عدد وبر،  $v$ : سرعت در بالادست سرریز و  $t$ : ضخامت دیوار سرریز است. با ضرب دو پارامتر بی بعد  $\frac{v^2}{gh}$  و  $\frac{h}{W}$  جذر گرفتن از آن پارامتر بی بعد  $\frac{v}{\sqrt{gW}}$  به دست می آید که رابطه (۶) را می توان به صورت رابطه (۷) نوشت:

$$f(\text{Re}, \text{We}, \frac{v}{\sqrt{gW}}, \frac{h}{L}, \frac{h}{t}, \frac{h}{a}) = \frac{v}{\sqrt{gW}} \quad (7)$$

سرعت در بالادست مدل فیزیکی از رابطه (۸) محاسبه می شود.

$$v = \frac{Q}{(P+h).W} \quad (8)$$

با جایگزینی رابطه (۸) در رابطه (۷) رابطه دبی در مدل فیزیکی به دست می آید.

$$f(\text{Re}, \text{We}, \frac{1}{\sqrt{g}}, \frac{h}{L}, \frac{h}{t}, \frac{h}{a}) = \frac{1}{\sqrt{g}} \quad (9)$$

با توجه به رابطه (۹) ضریب دبی تابعی از نسبت های  $\frac{h}{L}$ ،  $\frac{h}{t}$  و  $\frac{h}{a}$  و عددهای بدون بعد رینولدز و وبر است. در آزمایشگاه با تغییر نسبت های ذکر شده تغییرات ضریب دبی با دبی بررسی و از عددهای وبر و رینولدز با توجه به حدود ارایه شده در منابع صرف نظر می شود. آزمایش ها در فلوم آزمایشگاهی شیب پذیر مستطیلی به طول ۱۲ متر، عرض ۰/۵۰ متر و ارتفاع ۰/۸۰ متر با جنس دیواره ها و کف شیشه انجام شد. دبی فلوم از سه پمپ با مجموع دبی ۸۰ لیتر بر ثانیه تأمین و با سرریز مثلثی در خروجی اندازه گیری شد. برای اندازه گیری عمق آب از سه عمق سنج با دقت ۰/۱ میلی متر و اندازه گیری سرعت از میکرومولینه و لوله پیتوت استفاده شد. نمای کلی فلوم در شکل ۲ ارائه می شود.

صفحه های مشبک برای کاهش انرژی جنبشی آب در ورودی فلوم و بالادست سرریز مثلثی قرار داده شد. هفت مدل فیزیکی سرریز کنگره ای مستطیلی و یک سرریز مستقیم پلکسی گلاس ساخته شد که با چسب سیلیکون در فلوم نصب و آب بندی شدند. اندازه مدل ها در جدول ۱ آورده شده است. از مدل های مستطیلی ۱، ۲، ۳ و ۴ برای بررسی اثر افزایش طول دماغه که در واقع افزایش طول تاج سرریز است و مدل های ۴، ۵ و ۶ به منظور اثر تغییر ارتفاع روی ضریب دبی و از مدل سرریز مستقیم برای مقایسه استفاده شده است. تاج سرریزها به شکل ربع دایره و با شعاع ۱۰ میلیمتر بود. آزمایش ها در محدوده دبی ۱۰ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه با شیب زیر بحرانی انجام شد. ارتفاع و سرعت آب (۷) در ۱ متری بالادست محل نصب سرریز اندازه گیری شد.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} c_d L h^{3/2} \quad (4)$$

در این رابطه  $Q$ : دبی  $(m^3/s)$ ،  $g$ : شتاب ثقل  $(m/s^2)$ ،  $L$ : طول تاج سرریز  $(m)$ ،  $h$ : ارتفاع آب بالادست  $(m)$  و  $c_d$ : ضریب دبی است. تالیس و همکاران (۱۶) آزمایشاتی برای بهینه کردن کارایی هیدرولیکی سرریزهای کنگره ای با زاویه کناری ۷ و ۸ درجه در ارتفاع های آب بالادست کم با شکل تاج های مختلف انجام دادند. با استفاده از نتایج معیار طراحی را برای سرریز کنگره ای سد برآزوس تعدیل نمودند. قاره و همکاران (۵) رابطه ای برای مقدار بهینه ضریب دبی پیدا کردند و روشی برای طراحی سرریز کنگره ای دوزنقه ای براساس این رابطه ارائه کردند. خود و همکاران (۸) آزمایشاتی روی سرریز کنگره ای دوزنقه ای با زاویه کناری مختلف انجام دادند. نتایج نشان داد ضریب دبی واحد عرض سرریز در ابتدا با افزایش ارتفاع آب به مقدار حداکثر خود می رسد و بعد به سرعت کاهش می یابد. جواهری و کبیری سامانی (۷) با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی سرریز کنگره ای مستطیلی پرداختند. نتایج نشان داد که ضریب دبی سرریز کنگره ای مستطیلی به میزان قابل توجهی افزایش یافته و نسبت به سرریز مستقیم لبه تیز و کنگره ای مثلثی به ترتیب ۲ و ۵ برابر شده است و رابطه (۵) را برای محاسبه ضریب دبی پیشنهاد کردند.

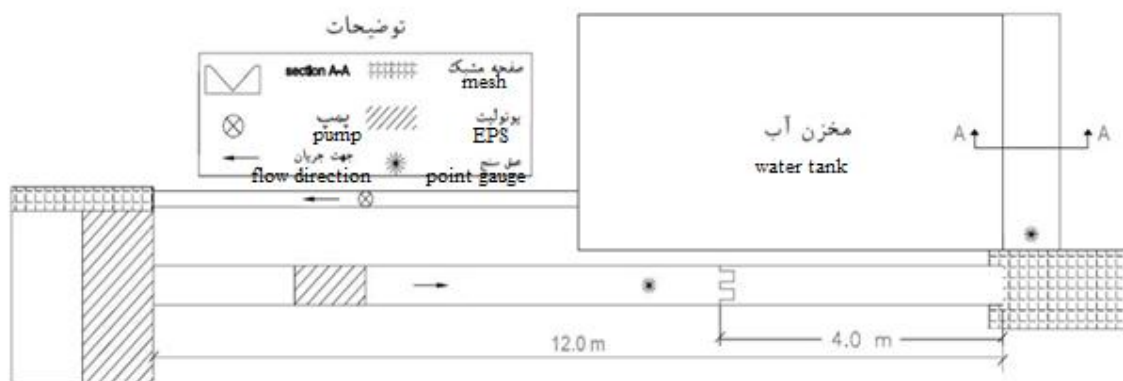
$$C = 1.027 + 0.23 \left(\frac{h}{P}\right)^{-1.282} \left(\frac{b}{W}\right)^{-0.472} \left(\frac{a}{W}\right)^{0.512} \left(\frac{a'}{W}\right)^{-1.205} \quad (5)$$

که در این رابطه،  $a$ : عرض دماغه بالادست،  $a'$ : عرض دماغه پایین دست و  $Fr$ : عدد فرود در بالادست سرریز است.

اکثر پژوهش های سرریزهای کنگره ای برای شکل نمای از بالای دوزنقه ای و مثلثی انجام گرفته است. بنابراین اطلاعات هیدرولیکی مورد نیاز برای طراحی سرریزهای کنگره ای مستطیلی موجود نیست. جواهری و کبیری سامانی عدد فرود را در معادله ضریب دبی وارد کردند که در طراحی مقدار عدد فرود مجهول است. بنابراین در این پژوهش با استفاده از تحلیل ابعادی و مطالعه مدل فیزیکی سعی شده روابطی برای ضریب دبی سرریز کنگره ای مستطیلی ارائه شود که به توان از آن برای طراحی استفاده کرد همچنین مقدار ضریب دبی را با دقت بالایی محاسبه کند.

## مواد و روش ها

پارامترهای موثر روی دبی سرریزهای کنگره ای مستطیلی عبارتند از ارتفاع سرریز  $(P)$ ، طول تاج  $(L)$ ، عرض کانال  $(W)$ ، ضخامت دیوار  $(t)$ ، عرض سیکل ورودی  $(a)$ ، ارتفاع آب بالادست  $(h)$  دارای بعد  $[L]$ ، شتاب ثقل  $(g)$   $[L/T^2]$ ، سرعت  $(v)$   $[L/T]$ ، کشش سطحی  $(\sigma)$



شکل ۲- فلوم تحقیقاتی (نمای بالا)  
Figure 2- Laboratory flume (top view)

برای ارتفاع سرریز ۰/۱۵ متر اگر حداقل نسبت ارتفاع آب بالادست به ارتفاع سرریز برابر ۰/۲ باشد از کشش سطحی می‌توان صرف‌نظر کرد (۴). نواک و همکاران (۱۲) برای مدل‌سازی رودخانه پیشنهاد کردند با حداقل عمق ۰/۰۳ متر می‌توان از کشش سطحی صرف‌نظر کرد. بنابراین در این پژوهش حداقل ارتفاع آب ۰/۰۳ متر و حداقل مقدار دبی برابر با ۹ لیتر بر ثانیه می‌باشد که اعداد وبر و رینولدز مربوطه برای ارتفاع سرریز ۰/۱ متری به ترتیب برابر با ۱۵ و ۱۲۰۰۰ به دست آمد. بنابراین می‌توان از عددهای رینولدز و وبر صرف‌نظر کرد همچنین نسبت  $\frac{h}{\tau}$  تأثیری روی ضریب دبی ندارد. بنابراین رابطه (۱۱) برای محاسبه ضریب دبی با استفاده از نرم افزار SPSS به دست آمد.

در مجموع تعداد ۲۰۰ آزمایش انجام که از ۲۰ درصد داده‌ها برای صحت‌سنجی معادله‌ها استفاده شد. برای ارزیابی و تأیید نتایج از پارامتر مجذور میانگین مربعات خطا که به صورت رابطه (۱۰) بیان می‌شود استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{calc.} - X_{obsr.})^2}{n}} \quad (10)$$

که RMSE: مجذور میانگین مربعات خطا،  $X_{calc.}$ : مقدار محاسباتی پارامتر،  $X_{obsr.}$ : مقدار مشاهداتی پارامتر و  $n$ : تعداد داده‌ها می‌باشد.

## نتایج و بحث

جدول ۱- مشخصات هندسی مدل‌های هیدرولیکی

Table 1- Geomeric characteristic of physical models

سرریز spillway	عرض سیکل (m) Cycle weidth	L/P	ارتفاع (m) Hight	طول (m) Length	عرض (m) Width
مستطیلی ۱ Rectangular1	0.25	11.170	0.15	1.675	0.5
مستطیلی ۲ Rectangular2	0.25	9.830	0.15	1.475	0.5
مستطیلی ۳ Rectangular3	0.25	8.500	0.15	1.275	0.5
مستطیلی ۴ Rectangular4	0.25	7.170	0.15	1.075	0.5
مستطیلی ۵ Rectangular5	0.25	5.375	0.20	1.075	0.5
مستطیلی ۶ Rectangular6	0.25	4.300	0.25	1.075	0.5
مستقیم Stright		3.330	0.15	0.5	0.5

۲ آورده شده است. همچنین ضریب دبی به روش تالیس و همکاران (۱۵) محاسبه شد و ضریب‌های ثابت رابطه (۳) در جدول ۳ آورده شده است.

$$C = A * \left( \frac{h}{P} \right)^a + \left( \frac{h}{L} \right)^b + \left( \frac{h}{a} \right)^c \quad (11)$$

که A، B، C و D ضریب‌های ثابت هستند که مقدار آن‌ها در جدول

جدول ۲- ضریب‌های ثابت رابطه (۱۱) در سرریز مستطیلی  
Table 2- Constant coefficient of formula (11) in rectangular weir

سرریز spillway	RMSE	R <sup>2</sup>	D	C	B	A
مستطیلی ۱ Rectangular1	0.0057	0.995	-0.115	-0.509	-0.471	-4.149
مستطیلی ۲ Rectangular2	0.0018	0.997	-0.054	-0.503	-0.455	-3.903
مستطیلی ۳ Rectangular3	0.0018	0.998	-0.078	-0.373	-0.334	-2.996
مستطیلی ۴ Rectangular4	0.0018	0.999	-0.203	-0.100	-0.029	-2.043
مستطیلی ۵ Rectangular5	0.0062	0.997	-2.646	-0.792	-2.644	-0.290
مستطیلی ۶ Rectangular6	0.0029	0.997	-0.524	0.550	-0.466	-0.826

جدول ۳- ضریب‌های ثابت رابطه (۳) در سرریز مستطیلی  
Table 3- Constant coefficient of formula (3) in rectangular weir

سرریز spillway	RMSE	R <sup>2</sup>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>
مستطیلی ۱ Rectangular1	0.0052	0.988	16.27	-30.64	2091	-6.441	1.187
مستطیلی ۲ Rectangular2	0.0067	0.974	0.477	-1.333	1.405	-0.917	0.634
مستطیلی ۳ Rectangular3	0.0052	0.994	-4.935	10.74	-8.568	2.651	0.209
مستطیلی ۴ Rectangular4	0.0092	0.976	-0.133	1.658	-2.382	0.913	0.387
مستطیلی ۵ Rectangular5	0.0059	0.966	36.14	-54.43	28.81	-6.507	1.044
مستطیلی ۶ Rectangular6	0.0067	0.983	-38.79	39.90	-14.12	1.850	0.431

با روش تالیس و همکاران (۱۵) مقایسه شود پیچیدگی استفاده از رابطه‌ها برای طراحی زیاد شده است، بنابراین داده‌های مدل فیزیکی مستطیلی ۱، ۲، ۳ و ۴ در یک گروه به نام تغییر طول چون همه مشخصات هندسی سرریز به غیر از طول ثابت است و داده‌های مدل فیزیکی مستطیلی ۴، ۵ و ۶ در گروه تغییر ارتفاع قرار داده شده و ضریب‌های رابطه (۱۱) برای آنها محاسبه شد. همچنین براساس کل داده‌ها به دست آمده این ضریب‌ها محاسبه شده که نتایج در جدول ۴ آورده شده است.

با استفاده از دو فاکتور ضریب همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا دو رابطه (۳) و (۱۱) با یکدیگر مقایسه شد و نتایج جدول‌های ۲ و ۳ نشان داد که در تمامی موارد فاکتور ضریب همبستگی رابطه (۱۱) از رابطه (۳) بیشتر است، اما برای فاکتور مجذور میانگین میانگین مربعات رابطه (۱۱) به جز برای مدل فیزیکی مستطیلی ۱ و ۵ کمتر از رابطه (۳) است و به صفر نزدیک‌تر است بنابراین رابطه (۱۱) نتایج دقیق‌تری از ضریب دبی پیش‌بینی می‌کند. با توجه به اینکه برای هر مدل فیزیکی یک رابطه ارائه شده که

جدول ۴- ضریب‌های ثابت رابطه (۱۱) در سرریز مستطیلی

Table 4- Constant coefficient of formula (11) in rectangular weir

گروه Group	RMSE	R <sup>2</sup>	D	C	B	A
تغییر طول Change length	0.0033	0.991	0.132	-0.069	-0.037	-1.959
تغییر ارتفاع Change height	0.0044	0.990	-0.077	0.478	-0.048	-1.157
کل داده‌ها All data	0.0043	0.988	0.141	-0.066	-0.030	-1.956

پیشنهاد می‌شود برای طراحی از ضریب‌های که براساس کل داده‌ها به‌دست آمده استفاده شود. با توجه به این تقسیم‌بندی ضریب دبی با روش تالیس و همکاران (۱۵) محاسبه شد و ضریب‌های ثابت رابطه (۳) در جدول ۵ آورده شده است.

با مقایسه نتایج ضریب همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا که در جدول‌های ۲ و ۴ آورده شده است، مشخص می‌شود که روابطی که براساس یک مدل محاسبه شده است دقیق‌تر است اما برای طراحی مشخصات مدل فیزیکی مورد نیاز است و با توجه به اینکه تفاوت ناچیزی بین ضریب همبستگی و مجذور میانگین مربعات خطا رابطه براساس کل داده‌ها و دیگر رابطه‌های ذکر شده است

جدول ۵- ضریب‌های ثابت رابطه (۳) در سرریز مستطیلی

Table 5- Constant coefficient of formula (3) in rectangular weir

گروه Group	RMSE	R <sup>2</sup>	A <sub>5</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>
تغییر طول Change length	0.0246	0.714	1.257	-1.654	0.663	-0.350	0.548
تغییر ارتفاع Change height	0.0169	0.861	6.0781	-10.468	6.005	-1.513	0.638
کل داده‌ها All data	0.0260	0.753	3.770	-5.802	2.887	-0.782	0.582

موجود و رابطه (۱۲) مقدار ضریب دبی محاسبه شد و با نتایج رابطه (۵) مقایسه شد که نتایج به‌دست آمده از رابطه (۱۲) حداکثر نصف نتایج رابطه (۵) است، بنابراین رابطه (۵) نمی‌تواند مقدار ضریب دبی را پیش‌بینی کند.

در شکل‌های ۳ و ۴ تغییرات دبی در برابر نسبت H/P برای سرریز کنگره‌ای مستطیلی و سرریز مستقیم رسم شده است. در یک دبی و ارتفاع ثابت با افزایش طول سرریز مقدار ارتفاع آب بالادست سرریز به دلیل افزایش طول موثر سرریز و کاهش نسبت طول تداخل به طول دماغه سرریز کاهش می‌یابد، همچنین در یک نسبت H/P و ارتفاع سرریز ثابت با افزایش طول دماغه دبی عبوری از سرریز افزایش یافته که با نتایج تالیس و همکاران (۱۵) و خود و همکاران (۸) مطابقت دارد. در یک طول و نسبت H/P ثابت با افزایش ارتفاع در ابتدا مقدار ضریب دبی به دلیل کاهش تداخل جت‌های کناری و کاهش استغراق محلی افزایش می‌یابد اما با افزایش ارتفاع از ۰/۲۰ متر به ۰/۲۵ متر مقدار ضریب دبی کاهش می‌یابد چون سرعت

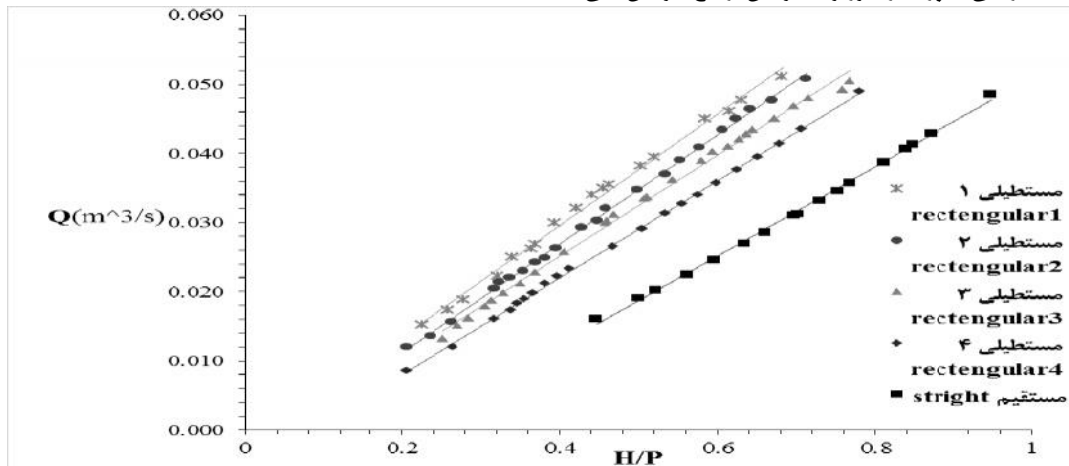
با توجه به نتایج جدول ۵ روش تالیس و همکاران (۱۵) در تقسیم‌بندی جدید نمی‌تواند ضریب دبی را به خوبی پیش‌بینی کند چون ضریب همبستگی به شدت کاهش یافته و مجذور میانگین مربعات خطا افزایش یافته است. برای طراحی به روش تالیس و همکاران (۱۵) می‌توان از جدول ۳ و با توجه به مشخصات هندسی هر مدل فیزیکی استفاده کرد. اما رابطه (۱۱) بر اساس کل داده نیاز به مشخصات هندسی مدل فیزیکی ندارد چون مشخصات مورد نظر غیر از تعداد سیکل سرریز در آن لحاظ شده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای طراحی سرریز کنگره‌ای مستطیلی از رابطه (۱۱) با ضریب‌های ثابتی که کل داده‌ها به‌دست آمده استفاده شود. جواهری و کبیری سامانی (۱) با استفاده از رابطه (۱۲) و مطالعه آزمایشگاهی رابطه (۵) را ارائه کردند.

$$C = \frac{Q}{W\sqrt{2g}h^{3/2}} \quad (12)$$

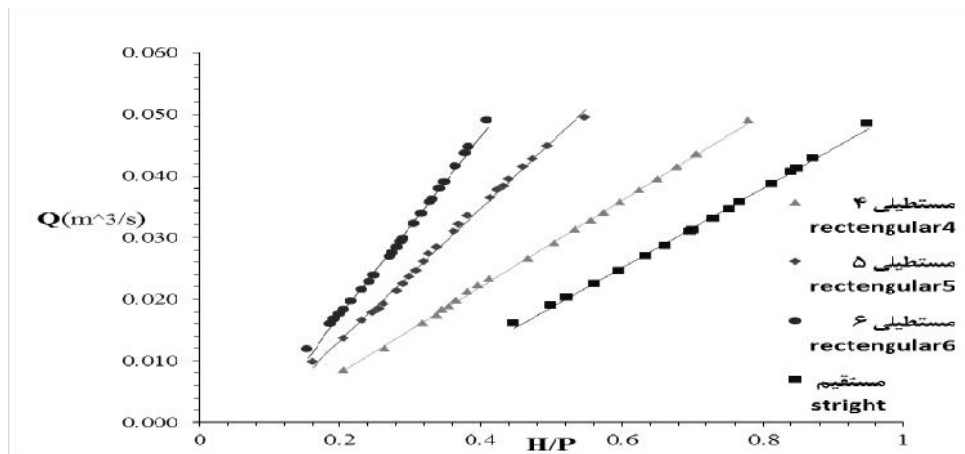
با استفاده از رابطه (۱۲) و داده‌های مشاهده شده و از رابطه (۵) مقدار ضریب دبی مدل‌های فیزیکی محاسبه شدند. با استفاده از داده‌های

یابد چون در نسبت H/P مقدار مخرج کسر افزایش و در نتیجه مقدار ارتفاع کل آب بالادست افزایش می‌یابد.

جریان و عدد وبر کاهش یافته در نتیجه اثر نیروی کشش سطحی و مقاومت در برابر جریان افزایش یافته است. در یک طول و نسبت H/P ثابت مقدار دبی عبوری از سرریز با افزایش ارتفاع افزایش می‌-



شکل ۳- نمودار تغییرات دبی در برابر نسبت H/P برای تغییر طول سرریز کنگره‌ای مستطیلی  
Figure 3- Discharge changes against H/P for length change of rectangular labyrinth weirs



شکل ۴- نمودار تغییرات دبی در برابر نسبت H/P برای تغییر ارتفاع سرریز کنگره‌ای مستطیلی  
Figure 4- discharge changes against H/P for height change of rectangular labyrinth weirs

### نتیجه‌گیری

برای پیش‌بینی ضریب دبی پیشنهاد می‌شود از رابطه (۱۱) استفاده شود چون ضریب همبستگی و مجذور میانگین خطا مناسب‌تری نسبت به رابطه‌های دیگر دارد، همچنین پیشنهاد می‌شود از ضریب‌های ثابت که از کل داده‌ها محاسبه شده است برای رابطه (۱۱) در طراحی استفاده شود.

در یک نسبت H/P و ارتفاع سرریز ثابت با افزایش طول دماغه دبی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد. در یک طول و نسبت H/P ثابت مقدار دبی عبوری از سرریز با افزایش ارتفاع، افزایش می‌یابد.

برای طراحی سرریز کنگره‌ای مستطیلی محدوده  $0/20 \leq H/P \leq 0/40$  پیشنهاد می‌شود که حداکثر هوادهی و ضریب دبی در این محدوده است که با نتایج هی و تیلور (۷) و دارواس (۴) مطابقت دارد. در دبی و ارتفاع سرریز ثابت ارتفاع کل آب بالادست سرریز مستقیم حداقل مساوی و حداکثر ۱/۸ برابر سرریز کنگره‌ای مستطیلی است. بنابراین برای مناطقی که محدودیت ارتفاع آب بالادست وجود دارد، سرریز کنگره‌ای مستطیلی ارتفاع آب بالادست کمتری از سرریز مستقیم نیاز دارد که استفاده از این سرریزها پیشنهاد می‌شود.

پیشنهاد می‌شود در طراحی سرریز سدها به‌جای طراحی سرریز مستقیم از سرریز کنگره‌ای استفاده شود.

چون دبی عبوری سرریز کنگره‌ای مستطیلی ۲/۶ برابر بیشتر از سرریز مستقیم است و ارتفاع آب بالادست ۱/۸ برابر کوچک‌تر است.

## منابع

- 1- Amanian N. 1987. Performance of and design of labyrinth spillways. M.S. thesis, Utah State University, Logan, Utah.
- 2- Cassidy J. J., Gardner C. A., and Peacock R. T. 1985. Boardman labyrinth crest. ASCE, J. Hyd. Eng. 111(3): 247-255.
- 3- Darvas L.A. 1971. Discussion of 'Performance and design of labyrinth weirs' by Hay and Taylor. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 97 (80): 1246-1251.
- 4- Falvey H. T. 2003. Hydraulic Design of labyrinth weirs. ASCE press, reston, Virginia, USA. 162pp.
- 5- Ghare A.D., Mhaisalkar V.A., and Porey P.D. 2008. An Approach to Optimal Design of Trapezoidal Labyrinth Weirs. World Applied Sciences Journal 3 (6): 934-938.
- 6- Hay N., and Taylor G. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 96 (11): 2337-2357.
- 7- Javaheri A., and Kabiri Samani A. 2011. Presentation of Formula for Discharge Coefficient of Crinkle Weirs by Using Experimental Data. 10<sup>th</sup> Iranian Hydraulic Conference. (In Persian)
- 8- Khode B.V., Tembhurkar A.R., Porey P.D., and Ingle R.N. 2012. Experimental studies on flow over labyrinth weir. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 10-1061/ (ASCE) IR.21p.
- 9- Lux F. 1984. Discharge characteristics of labyrinth weirs. Proceedings of conference on Water for Resource Development, Coeur d' Alene, ID, Aug., ASCE.
- 10- Lux F., and Hinchliff D. L. 1985. Design and construction of labyrinth spillway. 15<sup>th</sup> Congress of ICOLD, Lausanne, Switzerland, pp. 249-274.
- 11- Megalahaes, A.P. and Lorena. 1989. Hydraulic design of labyrinth weir, report No.636, National Laboratory of Civil Engineering, Lisbon, Portugal.
- 12- Novak P., Guinott V., Jeffrey A., and Reeve D.E. 2010. Hydraulic modeling an introduction. SponPrees, New York, USA 614pp.
- 13- Tacail F.G., Even B., and Babb A. 1990. Case study of a labyrinth spillway. Canadian Journal of Civil Engineering, 17, 1-7.
- 14- Taylor G. 1968. The performance of Labyrinth weir, thesis presented to university of Nottingham, England.
- 15- Tullis J.P., Nosratollah A., and Waldron D. 1995. Design of Labyrinth Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE. 121 (3): 247-255.
- 16- Tullis J. P., Willmore C. M., and Wolfhope J. S. 2005. Improving performance of low-head labyrinth weirs. Proc. of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress, May 15-19, Anchorage, Alaska.
- 17- Waldron D.R. 1994. Design of labyrinth spillways. MSc thesis, Utah State University, Logan, Utah.



## Experimental Study of Rectangular Labyrinth Weir

M. Rezaee<sup>1\*</sup> - A. Emadi<sup>2</sup> - Q. Aqajani Mazandarani<sup>3</sup>

Received: 09-06-2014

Accepted: 13-04-2015

**Introduction:** Labyrinth weirs compare with straight weirs had required less freeboard in upstream so they are more appropriate for the irrigation networks. So they could make more space to store water and restrained flood with higher discharge. Labyrinth weirs have three generally form triangles, trapezoidal and rectangular that Tullis et al. (15) presented formula (3) for discharge coefficient of labyrinth weirs (triangles and rectangular) and a few studies carried out on rectangular shape and its hydraulic characteristics are not specified. Therefore main aim of this paper study and characterized hydraulic characteristics of rectangular labyrinth weirs by using laboratory data.

**Materials and Methods:** In this study rectangular labyrinth weir discharge and coefficient discharge relationships used dimensional analysis and experiment on hydraulic modeling, constant coefficient was defined. Laboratory flume is shown in Figure 2 (0.5 m wide x 12 m long x 0.8 m deep). Models were made from clear plexiglass plate with 10 cm thickness that cut using laser device and the crest manually shaped quadrant with radius 10 cm, all models using silicon glue install in the flume. The upstream depth measured by point gauge that installed in upstream of models. Discharge calculated by upstream depth of triangular weir that installed in downstream of flume. Data were analyzed by SPSS software and to compare relationships with each other used two parameter root mean square error and correlation coefficient and charts drawn in Excel.

**Results and Discussion:** discharge coefficient formula (11) carried out by using SPSS software that compared with formula (3). Results showed (Tables 2 and 3) that the correlation coefficient of formula (11) was more than a formula (3) and formula (11) RSME was less than formula (3) RSME except in first and fifth hydraulic model (rectangular 1 and 5) that they were almost equal. So the formula (11) was more accurate than a formula (3) to predict discharge of flow in flume. In previous step we used all data, we saw formula (11) had more accurate than we divided data divided in to three groups: high change, length change and all that calculated correlation coefficient and RSME for formula (11) to figure out which group have more accurate, results was brought in table 4. The result showed that constant coefficient of formula (11) yields from all data was useful for the design proposed. Plotted discharge changes against H/P for rectangular labyrinth and straight weirs in Figs. 3 and 4. In constant discharge and high with raising length weir, decreased depth of flow over the weir because the effective weir length was raised and the ratio of distributed length to apex length (b) was decreased. As well as in constant H/P and high weir with raising apex length, discharge was increased that similarity of the results of Tullis et al. (15) and Khode et al. (8). In length, and the ratio H / P constant with increasing height in the discharge coefficient due to submergence reduce local side jet-Hay reduce interference, but increases with increasing height from 0.20 to 0.25m discharge coefficient decreases as flow rate and Weber number decreased as a result of the effect of surface tension and increased resistance to flow. In length, and the ratio H / P fixed amount of overflow discharge increases with increasing height as the ratio H / P value of the denominator increases and therefore increases the total height of the water upstream. For design overflow rectangular labyrinth weirs recommends 0.20 H/P 0.40 that maximum aeration and discharge coefficient in this range is the result of Hay and Taylor (7) and Darvas (4) is consistent. In discharge and fixed weir height and maximum height of the water upstream directly at least equal to 1.8 of the overflow straight weirs. So for the areas where there is a height restriction of water upstream, the water level upstream of rectangular labyrinth weirs less direct overflow weirs requires the use of this is recommended.

**Conclusion:** The results showed the relationship (11) that uses most of effective parameters has more accurate results and proposed for design aim. In constant water head upstream discharge of labyrinth weir maximum 2.6 times more than straight weir discharge and in constant discharge water head upstream of straight weir 1.8 times more than upstream labyrinth weir water head so use a labyrinth weir appropriate for areas that have head and discharge restrictions. Best range of ratio H/P for design was 0.20 to 0.40 and maximum coefficient discharge happened in this range.

**Keywords:** Coefficient Discharge, Dimensional Analysis, Straight Weir

1, 2 and 3- M.Sc Graduated, Associate Professor and Lecture Faculty of Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, Respectively

(\*-Corresponding Author Email: manni.rezaee@yahoo.com)