



دانشگاه گوارن کشاورزی و منابع طبیعی گوارن

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و سوم، شماره چهارم، ۱۳۹۵

<http://jwsc.gau.ac.ir>

## بررسی تأثیر شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی

مهسا اسکوئی<sup>۱</sup>، \*علیرضا عمادی<sup>۲</sup> و علی شاهنظری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری،

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۱۹

### چکیده

**سابقه و هدف:** سرریزها سازه‌های هیدرولیکی مهمی می‌باشند که برای تنظیم سطح آب، اندازه‌گیری جریان و تخلیه سیلاب در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها احداث می‌شوند. سرریزها بر اساس شکل تاج در عرض رودخانه، به دو گروه مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. یکی از راهکارهای مؤثر و اقتصادی برای افزایش ظرفیت تخلیه در عرض مشخص سرریزها، استفاده از سرریز کنگره‌ای می‌باشد. هدف اصلی از طرح کنگره‌ای سرریزها، افزایش طول سرریز به وسیله غیرخطی کردن شکل آن در پلان می‌باشد. عوامل مؤثر بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای از موارد مهمی می‌باشد که باید به آن توجه شود. این مشخصه از جریان تحت تأثیر پارامترهای متعددی است که تغییر در هر یک از آن‌ها نسبت به حالت استاندارد، شرایط جریان و راندمان تخلیه این سازه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. یکی از این پارامترها شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز کنگره‌ای می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی آزمایشگاهی اثر شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی می‌باشد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی در ۴ شیب مختلف وجه‌های بالادست و پایین‌دست به صورت هم‌زمان با استفاده از مدل آزمایشگاهی بررسی شد. پارامترهای مؤثر با استفاده از تجزیه و تحلیل ابعادی به روش باکینگهام در قالب شناسه‌های بدون بعد به دست آمد. آزمایش‌ها در فلومی با مقطع مستطیلی به طول ۱۲ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۸ متر با محدوده دبی ۱۰ تا ۷۰ لیتر بر ثانیه اجرا شد. سرریزهای مورد آزمایش از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت ۱۰ میلی‌متر و تعداد ۲ سیکل ساخته شد. سرریزها با هندسه‌های متفاوت که عبارتند از ارتفاع‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ سانتی‌متر و همچنین طول تاج‌های ۱/۰۷۵، ۱/۲۷۵ و ۱/۶۷۵ مورد بررسی قرار گرفت. زاویه شیب سرریزهای مورد آزمایش به ترتیب از حالت سرریز کنگره‌ای مستطیلی بدون شیب به زاویه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نسبت به رأس تاج سرریز تغییر یافت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد در محدوده دبی‌های کم، با ایجاد شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی، ضریب دبی سرریز نسبت به حالت بدون شیب مدل حدود ۱۲ درصد کاهش می‌یابد. با

\* مسئول مکاتبه: [emadia355@yahoo.com](mailto:emadia355@yahoo.com)

افزایش پارامتر بدون بعد  $H_i/P$  از میزان کاهش ضریب دبی سرریز کاسته می‌شود. در محدوده دبی‌های زیاد ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست بیش‌تر از ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی بدون شیب می‌گردد. علاوه بر این نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش ارتفاع سرریز در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست، ضریب دبی سرریز را در حدود ۱۸ درصد افزایش می‌دهد. همچنین نتایج بیانگر آن بود که افزایش طول مؤثر سرریز در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجوه باعث کاهش تقریباً ۱۳ درصدی ضریب دبی سرریز در نسبت‌های  $H_i/P$  بیش‌تر از حدود ۰/۳ می‌شود.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که شیب‌دار نمودن هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی نقش مؤثری در کارائی این سرریز دارد. به‌طوری‌که در دبی‌های بالا به‌منظور بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی می‌توان از ایجاد شیب هم‌زمان دو وجه استفاده نمود.

**واژه‌های کلیدی:** سرریز غیرخطی، شیب‌دهنده، ضریب جریان، مدل فیزیکی

#### مقدمه

مدیریت و انتقال آب یکی از مباحث مهم در طول توسعه تمدن بشر می‌باشد. برای پاسخ‌گویی به نیازها، سازه‌های هیدرولیکی متنوعی طراحی و ساخته شده است. یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند، که به‌منظور تخلیه، اندازه‌گیری و کنترل سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. از میان مسایل مربوط به سرریزها، ضریب گذردهی و یا ظرفیت آب‌گذری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مشخصه سرریز خود تحت تأثیر پارامترهای متعددی است که در این میان، ارتفاع سرریز نسبت به عمق آب، شکل تاج سرریز و طول تاج سرریز نسبت به سایر پارامترها اثرگذارتر می‌باشند. به‌طورکلی هدف از احداث سرریزها حفظ امنیت سد و عبور سیلاب، مدیریت سطح آب و تثبیت آبراهه‌هاست. بنابراین با توجه به این اهداف مقدار حداکثر دبی عبوری و ارتفاع آب بالای تاج سرریز دارای اهمیت است. به‌منظور افزایش میزان حداکثر دبی عبوری از سرریز و جلوگیری از پیامدهای ناشی از مسایلی مانند برگشت آب نیاز به ایجاد اصلاحاتی در سرریزهای موجود می‌باشد. یکی

از راهکارهای مؤثر و اقتصادی جهت افزایش راندمان سرریزها، استفاده از سرریزهای کنگره‌ای بوده که با تغییر هندسه پلان و افزایش طول سرریزی در عرض ثابت از کانال، موجب افزایش ظرفیت عبور جریان می‌گردد. این نوع سرریزها در منابع فارسی به نام‌های زیگزاگی، کنگره‌ای یا چندوجهی مشهور می‌باشند (۹). از موارد کاربرد سرریزهای کنگره‌ای می‌توان به استفاده از آن به‌عنوان سرریز اضطراری، یا سرویس در مخازن و مکان‌هایی که دبی زیادی از یک تاج نسبتاً تنگ عبور می‌کند، اشاره کرد. برای استفاده از این نوع سرریز در ترمیم سرریزهای موجود و نیز به‌کارگیری آن در پروژه‌های آبی، لازم است عملکرد آن به دقت بررسی شود. نخستین بررسی روی سرریزهای کنگره‌ای به‌وسیله تیلور (۱۹۶۸) انجام شد (۱۹). نتایج مطالعات هی و تیلور (۱۹۷۰) که روشی برای محاسبه دبی و طراحی این نوع سرریزها ارائه کردند، کامل‌ترین مجموعه بود (۱۱). مطالعات تجربی نیز به‌وسیله دارواس (۱۹۷۱)، لاکس و هینچلوف (۱۹۸۵)، تولیس و امانیان (۱۹۹۵)، تولیس و همکاران (۲۰۰۵)، کومار و همکاران (۲۰۱۱) و کروکستون و تولیس (۲۰۱۲) در زمینه سرریزهای کنگره‌ای انجام شد. (۷، ۱۳، ۲۰،

که یک وجه شیب‌دار می‌باشد، بیش‌تر است (۳). هدف از این پژوهش بررسی آزمایشگاهی اثر شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست به‌صورت هم‌زمان بر عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**الف) تحلیل ابعادی:** در مطالعات آزمایشگاهی به‌کار بردن هم‌زمان تحلیل‌های تئوری و داده‌های آزمایشگاهی امری اجتناب‌ناپذیر است. در پژوهش حاضر نیز از تحلیل ابعادی برای شناخت پارامترهای مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها و تحلیل روابط بین آن‌ها استفاده شد. رابطه ۱ پارامترهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی موثر بر ضریب دبی را نشان می‌دهد.

$$f_1(P, L, \theta, H, v, g, \sigma, \mu, \rho, C_d) = 0 \quad (1)$$

که در آن،  $P$  ارتفاع سرریز،  $L$  طول مؤثر تاج،  $\theta$  درجه شیب،  $H$  ارتفاع آب روی سرریز در بالادست سازه،  $v$  سرعت جریان عبوری از سرریز،  $g$  شتاب ثقل،  $\sigma$  کشش سطحی،  $\mu$  لزجت دینامیکی سیال و  $\rho$  جرم مخصوص سیال می‌باشد. در این پژوهش از روش باکینگهام برای تعیین پارامترهای بی‌بعد استفاده شد. با در نظر گرفتن پارامترهای ارتفاع آب بالادست، سرعت و چگالی به‌عنوان متغیر تکراری، رابطه ۲ به‌دست آمد.

$$f_2\left(\frac{H}{P}, \frac{H}{L}, Fr, We, Re, \theta, C_d\right) = 0 \quad (2)$$

اگر جریان روی سازه ورقه‌ای نباشد، از رابطه ۲ می‌توان تأثیرات لزجت در رفتار سیال را نادیده گرفت (۱۵). بدین‌ترتیب عدد بی‌بعد رینولدز از رابطه بالا حذف خواهد شد. چنان‌چه مقدار محدودیت حداقل ارتفاع آب روی سرریز (۳ سانتی‌متر) رعایت

۲۱، ۱۲، ۶). تغییر شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست از عوامل مهمی می‌باشند که می‌تواند شرایط جریان و راندمان تخلیه سرریزها را تحت‌تأثیر قرار دهد. پژوهش‌های انجام شده در این زمینه عموماً مطالعات روی سرریزهای مستقیم می‌باشد. فرهودی و همکاران (۲۰۰۷) با بررسی تأثیر شیب‌دار کردن وجه بالادست سرریزهای لبه‌پهن مستطیلی در ضریب تخلیه و مشخصات جریان نشان دادند که با تغییر شیب وجه بالادست سرریز، ضریب دبی جریان و در نتیجه ظرفیت تخلیه سرریز، متناسب با شیب‌دار شدن وجه بالادست سرریز افزایش می‌یابد (۱۰). صادقیان و برقی (۲۰۰۸) با بررسی آزمایشگاهی عملکرد هیدرولیکی سرریزهای جانبی منقاری با کف شیب‌دار بین کانال و دیواره سرریز، نشان دادند که دبی عبوری در حالت سرریز جانبی منقاری با کف شیب‌دار بین کانال و دیواره سرریز، نسبت به سرریز جانبی منقاری معمولی در حالت تک‌منقاره حدود ۱۰ درصد و نسبت به سرریز جانبی معمولی تا ۳۵ درصد افزایش می‌یابد (۱۷). فریتز و هاگر (۱۹۹۸) با بررسی هیدرولیک سرریزهای خاکی نشان دادند که ظرفیت عبوردهی جریان در سرریز خاکی با شیب ۱:۲، ۱۵ درصد بیش‌تر از سرریز لبه‌پهن استاندارد می‌باشد (۸). سارحسن و پرسی (۲۰۰۹) با بررسی آزمایشگاهی هیدرولیک سرریز لبه‌پهن با شیب‌های جانبی متفاوت، نشان دادند که شیب‌دار کردن وجه بالادست ظرفیت تخلیه این سرریز را افزایش می‌دهد و تغییر شیب وجه پایین‌دست اثر ناچیزی بر سرریز ایجاد خواهد نمود (۱۸). عظیمی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست بر ضریب تخلیه سرریز با طول تاج محدود پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سرریز لبه‌پهن با شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست، ضریب تخلیه نسبت به حالتی

فلوم، سرریز مثلثی نصب گردید. قبل از شروع آزمایش‌ها، سرریز مثلثی به صورت حجمی کالیبره و رابطه دبی-اشل برای آن به دست آمد. بعد از هر تغییر دبی ۱۰ دقیقه برای تعادل جریان در نظر گرفته شد و پس از آن ارتفاع آب در بالادست سرریز مثلثی و یک متری بالادست محل نصب سرریز مورد آزمایش اندازه‌گیری شد. سرریزهای ساخته شده در این پژوهش، ۵ مدل سرریزه کنگره‌ای با پلان مستطیلی می‌باشند که از جنس پلکسی‌گلاس با ضخامت دیواره ۱۰ میلی‌متر ساخته شدند. در مطالعات انجام شده، با توجه به عرض فلوم آزمایشگاهی و کاهش اثر کشش سطحی دیواره‌های سرریز کنگره‌ای مستطیلی، تعداد دو سیکل برای سرریز انتخاب شد. در این پژوهش سعی شد سطح تماس مدل‌ها با جریان آب صیقلی و صاف باشد تا اثر زبری سطح کاهش یابد و بتوان از اثر آن روی ضریب دبی صرف نظر نمود. شکل‌های ۱ و ۲ به ترتیب نما از بالای سرریز کنگره‌ای مستطیلی و نحوه قرارگیری آن در فلوم آزمایشگاهی را نشان می‌دهند.

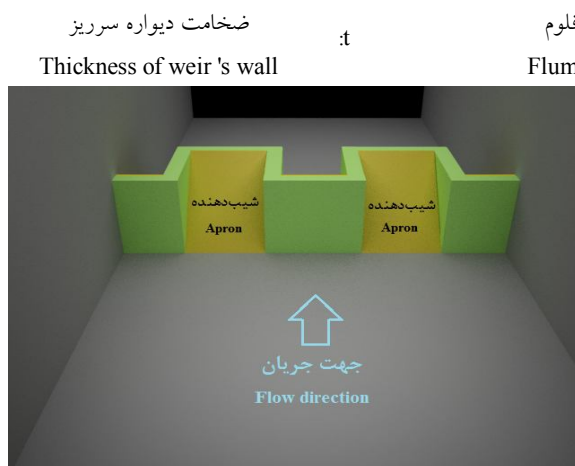
شود، می‌توان اثر کشش سطحی را کاهش داد (۵). بدین ترتیب عدد بی‌بعد وبر از رابطه ۲ حذف می‌شود. با توجه به ملاحظات فوق، می‌توان رابطه ۲ را به صورت رابطه ۳ بیان نمود.

$$f_3\left(\frac{H}{P}, \frac{H}{L}, Fr, \theta, C_d\right) = 0 \quad (3)$$

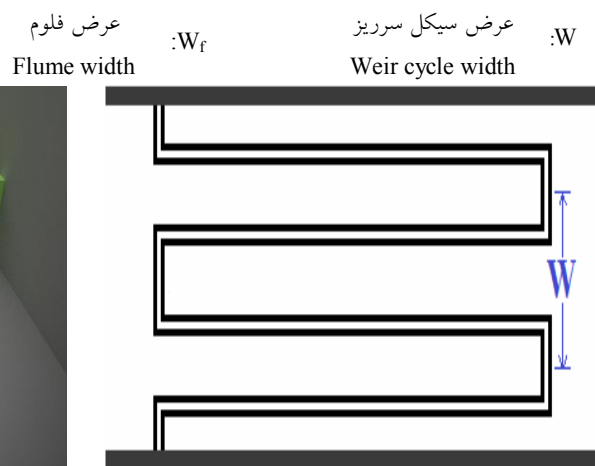
در نتیجه ضریب دبی مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی ( $C_d$ ) تابعی از پارامترهای بی‌بعد رابطه ۴ می‌باشد.

$$C_d = f_4\left(\frac{H}{P}, \frac{H}{L}, Fr, \theta\right) \quad (4)$$

ب) تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در فلومی به طول ۱۲ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۸ متر با کف و دیواره‌های از جنس شیشه انجام شد. دبی جریان از سه پمپ با مجموع دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه تأمین شد. به منظور اندازه‌گیری جریان عبوری، در پایین‌دست



شکل ۲- نمایی از قرارگیری سرریز کنگره‌ای مستطیلی در فلوم.  
Figure 2. Schematic of rectangular labyrinth weir position in flume.



شکل ۱- نمایی از پارامترهای هندسی سرریز کنگره‌ای مستطیلی.  
Figure 1. Schematic of geometrical parameters of rectangular labyrinth weir.

وجه‌های بالادست و پایین‌دست به‌صورت هم‌زمان به‌ترتیب از حالت سرریز کنگره‌ای مستطیلی بدون شیب به زاویه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه تغییر یافت. شکل ۳ نمایی از شیب هم‌زمان در وجه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز کنگره‌ای مستطیلی را نشان می‌دهد.

به‌منظور بررسی بهتر، سرریزها در دو حالت طراحی شدند، به این‌صورت که سه سرریز با ارتفاع برابر و طول مؤثرهای متفاوت و دو سرریز با طول مؤثر ثابت و ارتفاع‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. در جدول ۱ مشخصات مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش ارایه شده است.

آزمایش‌ها با چهار شیب مختلف نسبت به تاج سرریز صورت گرفت که زاویه‌های شیب سرریزها در

جدول ۱- مشخصات هندسی سرریزهای کنگره‌ای.

Table 1. Geometrical characteristic of rectangular labyrinth weir.

عرض سیکل (W) Cycle width (cm)	L/W <sub>f</sub>	ارتفاع (P) Height (cm)	طول مؤثر (L) Effective length (cm)	سرریز Weir
25	3.35	15	167.5	1
25	2.15	25	107.5	2
25	3	20	150	3
25	2.55	15	127.5	4
25	2.15	15	107.5	5



شکل ۳- نمایی از شیب هم‌زمان وجه بالادست و پایین‌دست.

Figure 3. Schematic of upstream and downstream ramps' degrees.

با توجه به رابطه ۵، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای به‌صورت رابطه ۶ می‌باشد.

$$C_d = \frac{Q}{\frac{2}{3} \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot (H_t)^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

ج) نحوه به‌دست آوردن ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای: رابطه ۵ برای محاسبه دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای ارایه شده است (۲۰).

$$Q = \frac{2}{3} \cdot C_d \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H_t^{\frac{3}{2}} \quad (5)$$

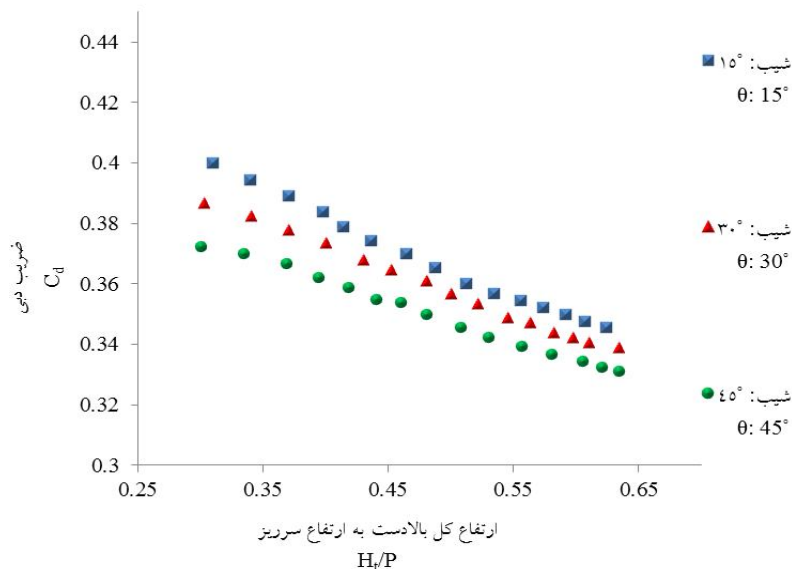
تغییر طول مؤثر و ارتفاع سرریز بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست تعیین شد.

تعیین رابطه بین ضریب دبی و پارامتر بدون بعد  $H_t/P$ : شکل ۴ تغییرات ضریب دبی بر حسب پارامتر بدون بعد  $H_t/P$  را برای مدل ۳ با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست در زاویه‌های ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نشان می‌دهد. روند تغییرات ضریب دبی برای هر ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی مورد آزمایش مشابه می‌باشد.

در رابطه ۶،  $Q$  جریان عبوری از سرریز کنگره‌ای  $C_d$  ضریب جریان،  $L$  طول مؤثر سرریز ( $m$ )،  $H_t$  ارتفاع کل آب روی سرریز ( $m$ ) و  $g$  شتاب ثقل ( $m/s^2$ ) می‌باشد.

### نتایج و بحث

در این بخش با توجه به داده‌های به‌دست آمده در آزمایش‌ها و با استناد به نتایج آنالیز ابعادی، تجزیه و تحلیل داده‌ها انجام شد. ابتدا تأثیر شیب‌دار کردن هم‌زمان وجوه سرریز بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت. سپس تأثیرات



شکل ۴- رابطه ضریب دبی با  $H_t/P$  در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه.

Figure 4. Discharge coefficient relation with  $H_t/P$  in rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps' same-time slope.

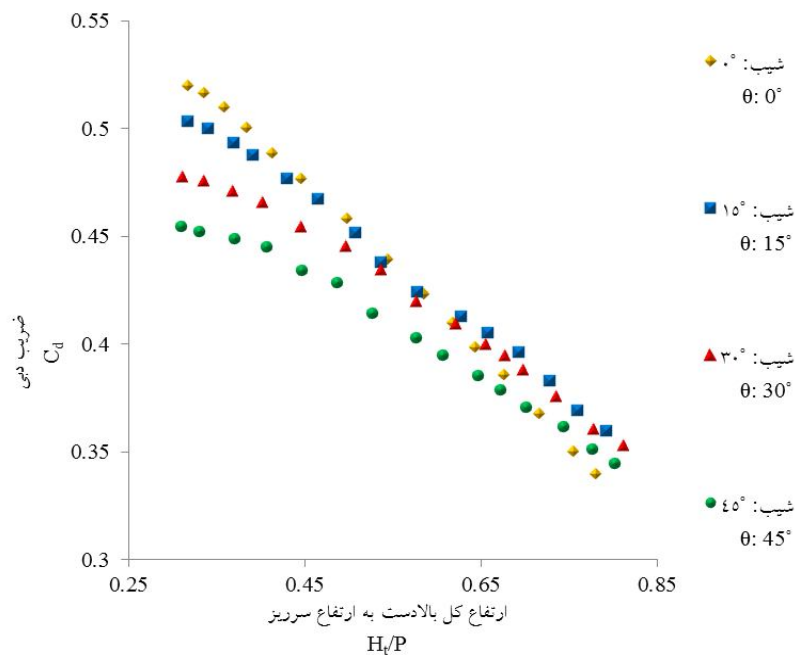
افزایش ارتفاع آب بالادست سرریز می‌باشد. افزایش ارتفاع آب بالادست سرریز باعث افزایش تداخل جت‌های آب سبکل کنار یکدیگر می‌شود و استغراق محلی سرریز را افزایش می‌دهد که به موجب آن راندمان هیدرولیکی مدل کاهش می‌یابد. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج کاسیدی و همکاران (۱۹۸۵)، امانیان (۱۹۸۷) و تالیس و همکاران (۲۰۰۷)

با توجه به شکل ۴ مشاهده شد که در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست با افزایش پارامتر بدون بعد  $H_t/P$ ، مقدار ضریب دبی و در نتیجه راندمان هیدرولیکی مدل کاهش می‌یابد. میزان کاهش ضریب دبی در محدوده این پژوهش حدود ۱۱ درصد به‌دست آمد. کاهش ضریب دبی با افزایش پارامتر بدون بعد  $H_t/P$  به دلیل

ضریب دبی را برای سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست نشان می‌دهد. به دلیل مشابه بودن روند تغییرات ضریب دبی برای هر ۵ مدل مورد بررسی تنها نمودار مربوط به مدل ۵ برای نمونه رسم شد.

که نشان دادند استغراق باعث کاهش راندمان هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای و مثلی می‌شود، هم‌خوانی دارد (۴، ۱، ۲۲).

بررسی تأثیر شیب هم‌زمان در وجه‌های بالادست و پایین‌دست: شکل ۵ پارامتر بدون بعد  $H_t/P$  در برابر

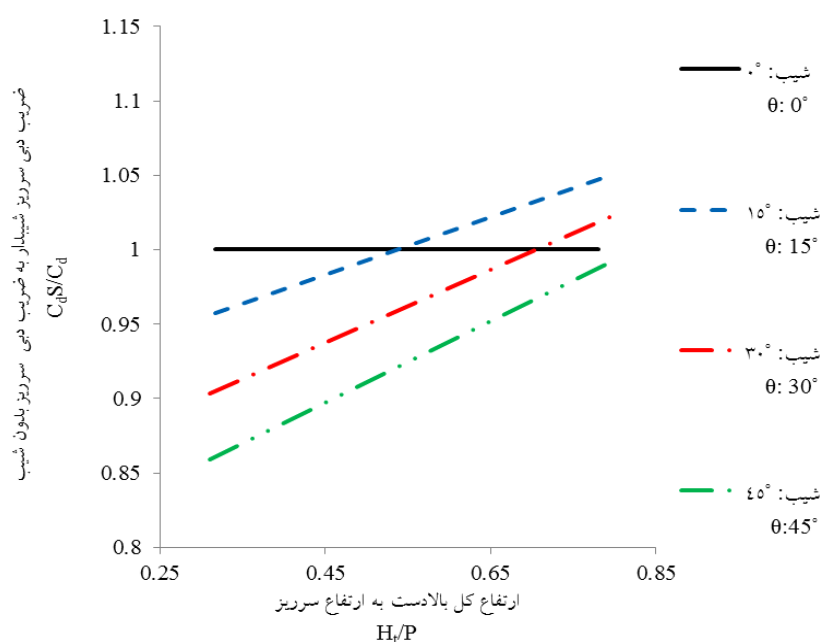


شکل ۵- تغییرات ضریب دبی با  $H_t/P$  در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه.

Figure 5. Discharge coefficient variations with  $H_t/P$  in rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps' same-time slope.

سرریز با شیب هم‌زمان دو وجه نسبت به حالت بدون شیب، کاسته می‌شود که با نتایج آندرسون (۲۰۱۱) روی سرریز کلیدپیانویی هم‌خوانی دارد (۲). برای تحلیل دقیق‌تر اثر شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست بر ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی، شکل ۶ رسم شد. این شکل تغییرات پارامتر بدون بعد نسبت ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجوه شیب‌دار به ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی بدون شیب  $(C_{dS}/C_d)$  را بر حسب پارامتر بدون بعد  $H_t/P$  نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۵ مشخص شد در محدوده دبی‌های کم، با شیب‌دار کردن وجه‌های بالادست و پایین‌دست به صورت هم‌زمان میزان ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی نسبت به حالتی که سرریز بدون شیب می‌باشد کاهش می‌یابد. کاهش ضریب دبی سرریز در اثر شیب‌دار شدن وجوه در محدوده دبی کم، به دلیل افزایش نیروی اصطکاک جریان عبوری از روی سرریز می‌باشد. با افزایش میزان دبی عبوری از سرریز کنگره‌ای مستطیلی به علت کاهش محدوده تداخلی جت آب سیکل‌های مجاور، از اختلاف ضریب دبی



شکل ۶- تغییرات ضریب دبی با  $H_t/P$  در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه.

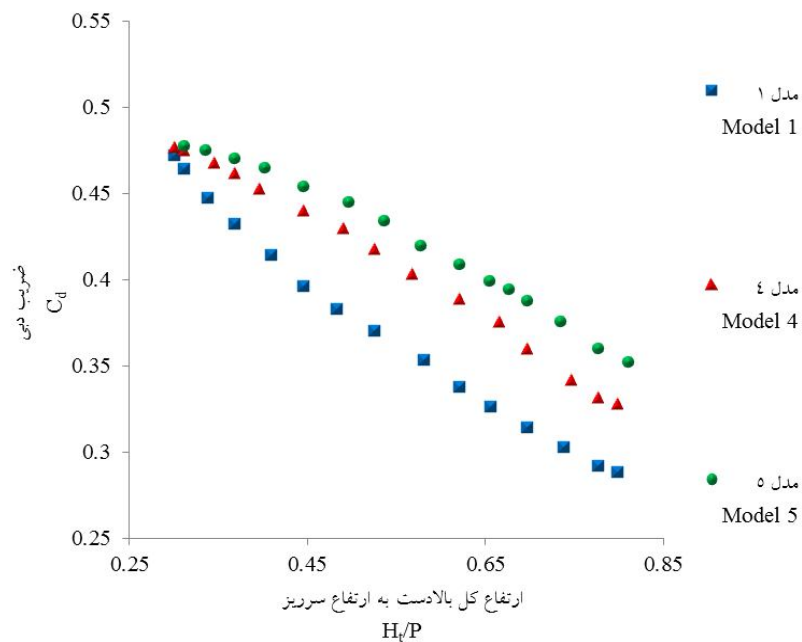
Figure 6. Discharge coefficient variations with  $H_t/P$  in rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps' same-time slope.

افزایش پارامتر بدون بعد  $H_t/P$  و برای مقادیر بیش‌تر از حدود ۰/۵۵، ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست از ضریب دبی سرریز کنگره‌ای بدون شیب بیش‌تر می‌باشد.

بررسی تأثیر تغییر مشخصات هندسی بر ضریب دبی: شکل ۷ پارامتر بدون بعد  $H_t/P$  در برابر ضریب دبی را برای ۳ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی که دارای مشخصات هندسی یکسان، اما طول مؤثرهای متفاوت می‌باشند، با شیب هم‌زمان ۳۰ درجه در وجه‌های بالادست و پایین‌دست نشان می‌دهد. روند تغییرات ضریب دبی برای تمامی زاویه‌های مورد آزمایش، مشابه می‌باشد.

شکل ۶ نشان می‌دهد که ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی متناسب با افزایش شیب کاهش می‌یابد. به طوری که شیب ۴۵ درجه نسبت به حالت بدون شیب، شیب‌های ۱۵ و ۳۰ درجه ضریب دبی کم‌تری دارد. همچنین نتایج نشان داد در شیب ۴۵ درجه از میزان ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی به‌طور میانگین حدود ۱۲ درصد نسبت به حالت بدون شیب سرریز کاسته می‌شود. علاوه بر این با توجه به شکل ملاحظه شد در محدوده  $H_t/P$  بین ۰/۳ تا ۰/۵۵ ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه نسبت به ضریب دبی سرریز بدون شیب کم‌تر می‌باشد. میزان کاهش ضریب دبی در این محدوده به‌طور متوسط حدود ۱۵ درصد به‌دست آمد. همچنین مشاهده شد با



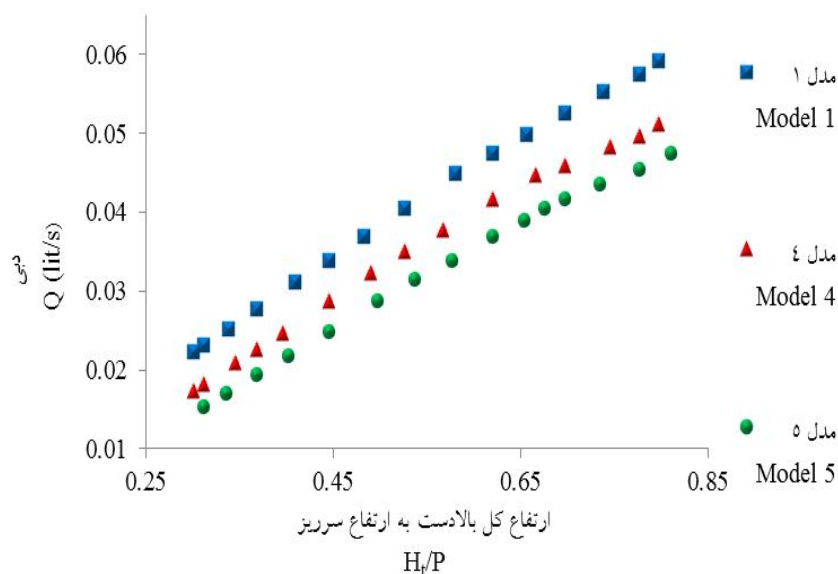


شکل ۷- تغییرات ضریب دبی با  $H_u/P$  در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه و طول مؤثرهای مختلف.

Figure 7. Discharge coefficient variations with  $H_u/P$  in rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps' same-time slope and different effective lengths.

گذردهی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست افزایش می‌یابد و مدلی که دارای طول مؤثر بیشتری نسبت به مدل‌های دیگر می‌باشد توانایی گذردهی بیشتری را دارد. شکل ۸ تغییرات دبی در برابر پارامتر بدون بعد  $H_u/P$  را برای این حالت در شیب ۳۰ درجه نشان می‌دهد. روند تغییرات دبی برای تمامی زاویه‌های مورد آزمایش مشابه می‌باشد. در این پژوهش دبی عبوری از مدل ۱ به‌طور متوسط از مدل ۴ حدود ۲۸ درصد و از مدل ۵ حدود ۴۰ درصد بیشتر می‌باشد. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج رضایی (۲۰۱۳) روی سرریز کنگره‌ای مستطیلی و میرناصری (۲۰۱۳) روی مدل ترکیبی سرریز کنگره‌ای-دریچه، مطابقت دارد (۱۶، ۱۴).

با توجه به شکل ۷ مشاهده شد که در نسبت  $H_u/P$  تقریباً برابر ۰/۳ مقدار ضریب دبی در مدل‌های فیزیکی به یک‌دیگر نزدیک می‌باشد، که این می‌تواند به دلیل اثر کشش سطحی باشد که در این محدوده افزایش می‌یابد. با افزایش پارامتر بدون بعد  $H_u/P$  اختلاف در مقدار ضریب دبی مدل‌ها افزایش می‌یابد و افزایش طول مؤثر سرریز باعث کاهش ضریب دبی در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که میزان ضریب دبی مدل ۱ به‌طور متوسط از مدل ۴ حدود ۱۲ درصد و از مدل ۵ حدود ۱۵ درصد کم‌تر می‌باشد. از طرفی به‌علت تأثیر مستقیم طول مؤثر سرریز بر دبی عبوری، با افزایش طول مؤثر سرریز، توانایی

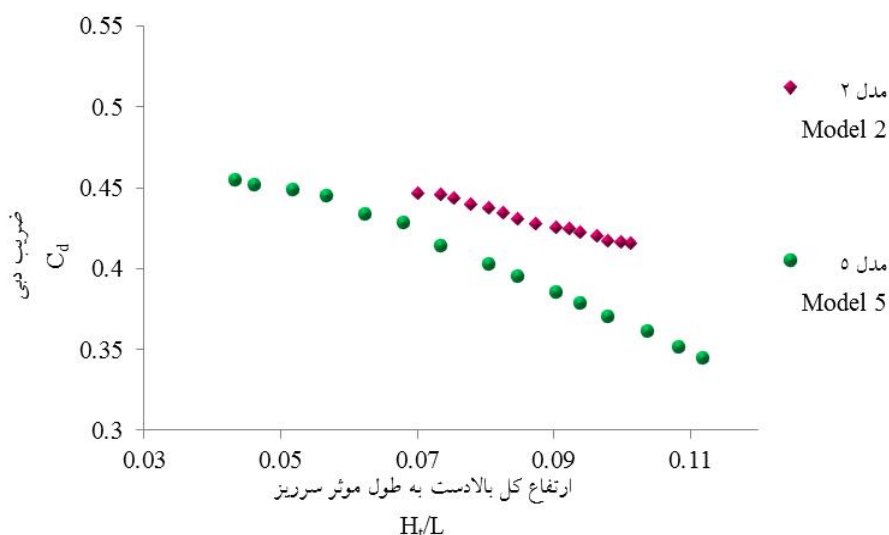


شکل ۸- تغییرات دبی با  $H_1/P$  در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه و طول مؤثرهای مختلف.

Figure 8. Discharge variations with  $H_1/P$  in rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps' same-time slope and different effective lengths.

ضریب دبی با پارامتر بدون بعد نسبت ارتفاع کل آب بالادست به طول مؤثر سرریز برای ۲ مدل را با شیب هم‌زمان ۴۵ درجه وجه‌های بالادست و پایین‌دست نمایش می‌دهد. روند تغییرات ضریب دبی برای تمامی زاویه‌های مورد آزمایش مشابه می‌باشد.

برای بررسی تأثیر تغییر ارتفاع سرریز روی ضریب دبی مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجوه شیب‌دار، آزمایش‌ها و برداشت‌هایی روی ۲ مدل با مشخصات هندسی یکسان و ارتفاع‌های مختلف ۱۵ و ۲۵ سانتی‌متر صورت پذیرفت. شکل ۹ تغییرات



شکل ۹- تغییرات ضریب دبی با  $H_1/L$  در سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه و ارتفاع‌های مختلف.

Figure 9. Discharge coefficient variations with  $H_1/L$  in rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps' same-time slope and different heights.

معادله ضریب دبی برای سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجوه شیب‌دار: داده‌ها بعد از جمع‌آوری با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS تحلیل شده و رابطه ۷ به دست آمد.

$$C_d = A \cdot \left(\frac{H}{p}\right)^{B_1} \cdot \left(\frac{H}{L}\right)^{B_2} \cdot Fr^{B_3} \cdot \tan \theta^{B_4} \quad (7)$$

که در آن،  $A$ ،  $B_1$ ،  $B_2$ ،  $B_3$  و  $B_4$  ضرایب ثابت رابطه هستند که برای هر سرریز با استفاده از ۸۰ درصد داده‌ها به دست آمد. در جدول ۲ ضرایب ثابت مربوط به هر یک از سرریزهای کنگره‌ای مورد آزمایش با وجوه شیب‌دار ارایه شده است.

شکل ۹ نشان می‌دهد که در یک ارتفاع آب بالادست مشخص، با افزایش ارتفاع سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجوه شیب‌دار و طول مؤثر ثابت، ضریب دبی افزایش می‌یابد. برای یک دبی و طول ثابت با افزایش ارتفاع سرریز، مقدار استغراق در پایین‌دست سرریز کنگره‌ای کاهش یافته و جریان با سهولت به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند. این امر باعث افزایش راندمان مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با وجوه شیب‌دار و افزایش ضریب دبی جریان می‌شود. مقایسه نتایج مدل‌ها با یک‌دیگر نشان داد که در یک ارتفاع آب بالادست مشخص، ضریب دبی مدل ۲ به‌طور میانگین حدود ۱۸ درصد بیش‌تر از مدل ۵ می‌باشد. نتایج این بخش از پژوهش با نتایج رضایی (۲۰۱۳) هم‌خوانی دارد (۱۶).

جدول ۲- ضرایب ثابت رابطه ضریب دبی (رابطه ۷) برای حالت شیب هم‌زمان وجه بالادست و پایین‌دست.

**Table 2. Constants of discharge coefficient relation for upstream and downstream ramps' same-time slope.**

$B_4$	$B_3$	$B_2$	$B_1$	A	سرریز Weir
-0.066	-0.034	-0.758	-1.247	1.397	1
-0.042	-0.020	-0.653	-0.996	0.831	2
-0.037	-0.049	-0.765	-0.958	1.213	3
-0.068	-0.310	-0.884	-1.066	0.916	4
-0.057	-0.131	-0.793	-1.023	1.131	5
-0.052	-0.041	-0.108	-0.375	0.307	کلی

با استفاده از ۲۰ درصد باقی‌مانده داده‌ها و رابطه‌های ۸ و ۹ میزان صحت رابطه ۷ بررسی شد. در جدول ۳ مشخصات آماری رابطه ۷ و آزمون صحت‌سنجی برای سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست ارایه شده است.

بر اساس ضرایب ثابت رابطه ۷ مشخص شد که ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست با پارامترهای بی‌بعد رابطه عکس دارد. همچنین در رابطه ۷ حساسیت ضریب دبی در این حالت به تغییرات مشخصه  $\frac{H}{p}$  بیش‌تر می‌باشد.

که در آن‌ها،  $X_i$  مقادیر مشاهده شده،  $Y_i$  مقادیر محاسبه شده،  $X_{iave}$  متوسط مقادیر مشاهده شده و  $n$  تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_{iave})^2}} \quad (8)$$

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (9)$$

جدول ۳- مشخصات آماری رابطه ضریب دبی (رابطه ۷) برای حالت شیب هم‌زمان دو وجه.

**Table 3. Statistical characteristics of discharge coefficient relation for upstream and downstream ramps' same-time slope.**

ضریب همبستگی (آزمون) correlation coefficient (Testing) $R^2$	خطای استاندارد (آزمون) Standard error (Testing) (SEE)	ضریب همبستگی (آموزش) correlation coefficient (Training) $R^2$	تابع خطای نرمال Normal error function (NRMSE)	خطای استاندارد تخمین (آموزش) Standard error of estimation (Training) (SEE)	سرریز Weir کلی
0.988	0.007	0.990	0.098	0.006	1
0.983	0.002	0.969	0.175	0.003	2
0.992	0.001	0.982	0.142	0.002	3
0.965	0.008	0.959	0.204	0.009	4
0.963	0.009	0.978	0.209	0.008	5
0.864	0.010	0.847	0.324	0.011	کلی

پایین‌دست سرریز استفاده نمود. ایجاد شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست در مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی، در محدوده دبی‌های کم باعث کاهش در حدود ۱۵ درصدی ضریب دبی سرریز نسبت به حالت بدون شیب مدل می‌شود. با افزایش هد آبی به‌علت کاهش محدوده تداخل جت‌های آب سیکل کنار یک‌دیگر، از میزان کاهش ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجوه نسبت به حالت بدون شیب سرریز کاسته می‌شود. به‌طوری‌که در هدهای آبی بالا ضریب دبی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان دو وجه نسبت به حالت بدون شیب مدل افزایش می‌یابد و در نتیجه موجب افزایش راندمان هیدرولیکی مدل می‌شود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش طول مؤثر سرریز در یک مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که رابطه ۷ برای هر ۵ مدل سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست از نظر مهندسی از دقت خوبی برخوردار می‌باشد.

### نتیجه‌گیری کلی

با توجه به یافته‌های ارائه شده در این پژوهش می‌توان چنین نتیجه گرفت که بالاترین کارایی هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی در هدهای آبی کم می‌باشد. با افزایش هد آبی، تداخل جت‌های آب سیکل کنار یک‌دیگر در سرریز کنگره‌ای مستطیلی افزایش یافته و به موجب آن راندمان سرریز کاهش می‌یابد. به‌منظور بهبود عملکرد هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی در هدهای آبی بالا می‌توان از شیب‌دار نمودن هم‌زمان وجه‌های بالادست و

افزایش پیدا می‌کند. با جمع‌بندی نتایج این پژوهش و مقایسه آن با نتایج سایر پژوهش‌گران می‌توان نتیجه گرفت که تغییر مشخصات هندسی سرریز کنگره‌ای مستطیلی و همچنین تغییر شیب وجه‌های بالادست و پایین‌دست سرریز بر میزان ضریب دبی عبوری از سرریز و در نهایت راندمان هیدرولیکی سرریز تأثیرگذار می‌باشد. با توجه به عملکرد مثبت تغییرات یاد شده در کارایی هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی پیشنهاد می‌گردد به‌منظور افزایش میزان حداکثر دبی عبوری از سرریز و جلوگیری از مسایلی نظیر برگشت آب و جوه سرریز کنگره‌ای مستطیلی به‌صورت هم‌زمان شیب‌دار شود.

شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست، ضریب دبی سیستم را حدود ۱۳ درصد کاهش می‌دهد. از طرفی به‌دلیل تأثیر مستقیم طول مؤثر بر توانایی گذردهی سرریز که در این پژوهش افزایش در حدود ۳۴ درصدی توانایی گذردهی سرریز کنگره‌ای مستطیلی با افزایش طول مؤثر آن مشاهده شد، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش طول مؤثر کارایی هیدرولیکی سرریز کنگره‌ای مستطیلی بهبود می‌یابد. همچنین بررسی‌ها بیانگر آن بود که در یک ارتفاع آب بالادست ثابت با افزایش ارتفاع سرریز کنگره‌ای مستطیلی با شیب هم‌زمان وجه‌های بالادست و پایین‌دست ضریب دبی سرریز حدود ۱۸ درصد افزایش می‌یابد و در نتیجه راندمان هیدرولیکی مدل

#### منابع

1. Amanian, N. 1987. Performance of and design of labyrinth spillways. M.Sc. thesis, Utah State University. Logan. Utah.
2. Anderson, R.M. 2011. Piano key Weir Head Discharge Relationships. All Graduate Theses and Dissertations, University of Utah State. 80p.
3. Azimi, A.H., Rajaratnam, N., and David, Z.Zh. 2013. Discharge Characteristics of Weirs of Finite Crest Length with Upstream and Downstream Ramps. J. Irrig. Drain. Eng. 139: 1. 75-83.
4. Cassidy, J.J., Gardner, C.A., and Peacock, R.T. 1985. Boardman labyrinth crest. J. Hyd. Eng. ASCE. 111: 3. 247-255.
5. Chanson, H. 2009. Discussion of Hydraulics of Broad-Crested Weirs with Varying Side Slopes. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 136: 7. 508-509.
6. Crookston, B.M., and Tullis, B.P. 2012. Labyrinth weirs: nappe interference and local submergence. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 138: 8. 757-765.
7. Darvas, L.A. 1971. Performance and design of labyrinth weirs. J. Hydr. Div. ASCE. 97: 8. 1246-1251.
8. Fritz, H.M., and Hager, W.H. 1998. Hydraulics of embankment weirs. J. Hydr. Eng. 124: 9. 963-971.
9. Falvey, H.T. 2003. Hydraulic Design of Labyrinth Weirs. ASCE Press. Pub., Virginia, USA.
10. Farhudi, J., Goudarzi, E., and Shokri, N. 2007. Investigation of upstream Slope on flow condition and discharge efficiency of broad-crest weir. Iranian Hydraulic Conference, Shahrekord, Iran. (In Persian)
11. Hay, N., and Taylor, G. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. J. Hydr. Div. ASCE. 96: 2. 2337-2357.
12. Kumara, S., Ahmada, Z., and Mansoorb, T. 2011. A new approach to improve the discharging capacity of sharp-crested triangular plan form weirs. Flow Measurement and Instrumentation. 22: 175-180.
13. 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.

14. Mirnaseri, M. 2013. Investigation of combined flow over rectangular labyrinth weir and under gates with different plans. M.Sc. Thesis, University of Sari, 79p. (In Persian)
15. Novak, P., Guinott, V., Jeffrey, A., and Reeve, D.E. 2010. Hydraulic modeling an introduction. Spon Prees, New York, USA.
16. Rezaee, M. 2013. Rectangular Labyrinth Weir Head-Discharge Relationship. M.Sc. Thesis, University of Sari, 60p. (In Persian)
17. Sadeghian, H., and Barghei, M. 2008. Increase efficiency of lateral weirs with upstream and downstream ramps' slope. National Congress of Civil Engineering, Tehran, Iran. (In Persian)
18. Sargison, J., and Percy, A. 2009. Hydraulics of Broad-Crested Weirs with Varying Side Slopes. J. Irrig. Drain. Eng. 135: 1. 115-118.
19. Taylor, G. 1968. The performance of Labyrinth weir. Thesis presented to university of Nottingham. England.
20. Tullis, J.P., Amanian, N., and Waldron, D. 1995. Design of Labyrinth Spillways. J. Hydr. Eng. ASCE. 121: 3. 247-255.
21. Tullis, J.P., Willmore, C.M., and Wolfhope, J.S. 2005. Improving performance of lowhead labyrinth weirs. Proc. of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress. May 15-19. Anchorage, Alaska.
22. Tullis, J.P., Youngand, J.C., and Chandler, M.A. 2007. Head-discharge relationship for submerged Labyrinth weir. J. Eng. ASCE. 133: 3. 248-254.



Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 23(4), 2016*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Investigation of simultaneous slope of upstream and downstream ramps on hydraulic performance of rectangular labyrinth weir**

**M. Oskouei<sup>1</sup>, \*A.R. Emadi<sup>2</sup> and A. Shahnazari<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Graduate., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, <sup>2</sup>Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

Received: 11/08/2015; Accepted: 05/08/2016

### **Abstract**

**Background and Objectives:** Weirs are one of important hydraulic structures that are constructed to regulate water surface, flow measurement and flood discharge in canals, rivers and reservoirs. According to the shape of crest across river, weirs are divided in two direct and indirect groups. Using labyrinth weir is an effective and economical way to increase discharge capacity. Main goal of labyrinth design of weirs is increase the length of weir by making the shape of it nonlinear. Effective factors on labyrinth weir's discharge coefficient are important which should be considered. Different parameters affect this characteristic of flow and any change in one of these factors affect the flow condition and discharge coefficient. One of these parameters is downstream and upstream ramps slope of labyrinth weir. This study is concentrated on experimental investigation of simultaneous slope of downstream and upstream ramps' effect on hydraulic performance of rectangular labyrinth weir

**Materials and Methods:** In this study 5 models of rectangular labyrinth weir in 4 different ramp slopes were investigated in hydraulic laboratory. Effective parameters on system were obtained by dimensionless indexes using Buckingham theory. Experiments are carried out in flume with rectangular profile, it's length, width and height are 12, 0.5 and 0.8 meters, respectively and discharge range of 10 to 70 l/s. Weirs under experiments were made of Plexiglas with 10 mm thickness and 2 cycles. Weirs including different heights of 15, 20, 25 cm and different crest's length of 1.075, 1.275 and 1.675 cm were investigated. In this study 4 different slopes were considered for rectangular labyrinth weir including without slope, 15, 30 and 45 degrees.

**Results:** Results indicated that in the case of upstream and downstream ramps' simultaneous slope, discharge coefficient decreased up to 7 percent compared to without slope condition. Increasing dimensionless parameter  $H_t/P$  leads to decrease discharge coefficient reduction. In the high discharge range, rectangular labyrinth discharge coefficient with upstream and downstream ramps' simultaneous slope is more than without slope condition. Furthermore, results showed that increase of weir height in rectangular labyrinth weir with upstream and downstream ramps' simultaneous slope results in discharge coefficient increase up to 13%. Increase of weir's effective length reduces the discharge coefficient up to 9% in  $H_t/P$  ratios that are more than 0.3.

**Conclusion:** With regard to the conclusion of this study, upstream and downstream ramps simultaneous slope play a important roles in efficiency of rectangular labyrinth weir. So, two ramps simultaneous slope can be used for high discharge in order to improvement of rectangular labyrinth weir's hydraulic efficiency.

**Keywords:** Non-linear weir, Apron, Flow coefficient, Physical model

---

\* Corresponding Author; Email: emadia355@yahoo.com

