

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر شیب دیواره بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی دوزنقه‌ای

مهدی ماجدی اصل<sup>۱\*</sup>، توحید امیدپور علویان<sup>۱</sup> و مهدی کوهدرق<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۶/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۱۴)

### چکیده

از مزایای سرریزهای کنگره‌ای می‌توان به بالا بودن ضریب آبدهی سرریز و پایین بودن نوسانات آب هنگام عبور جریان از روی تاج سرریز اشاره کرد. در این پژوهش ضریب دبی عبوری با تغییر هندسه سرریز از لحاظ تغییر شیب دیواره، زاویه سیکل قوسی و تغییر طول دماغه در بالادست و پایین‌دست هر سیکل از سرریز کنگره‌ای قوسی دوزنقه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در مجموع ۲۴۰ آزمایش بر روی ۱۶ مدل فیزیکی مختلف در کانالی با عرض ۱۲۰ سانتی‌متر و با تنگ شونده‌گی ۲۰ سانتی‌متر از هر دیواره انجام شده است. تمامی مدل‌ها با مدل شاهد (سرریز کنگره‌ای نرمال) (80A) مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج نشان داد، سرریز 80B با زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه و بدون شیب دیواره عملکرد بهتری نسبت به سایر سرریزها دارد. همچنین سرریز با زاویه سیکل قوسی و شیب دیواره ۲۰ درجه به صورت واگرا (D20B) در ناحیه  $Ht/P < 0.31$  عملکرد بهتری نسبت به سایر سرریزهای با زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه داشته و پس از این ناحیه، سرریز با شیب دیواره ۱۰ درجه به صورت واگرا عملکرد بهتری داشته است (D10B). در سرریزهای دارای چند سیکل در زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه، سرریز کنگره‌ای دارای ۵ سیکل (N5) تا نقطه  $Ht/P < 0.36$  عملکرد بهتری داشته است. همچنین در نقطه اوج به ترتیب اختلاف ۱۳ و ۱۷ درصدی نسبت به سرریز ۴ سیکل و ۳ سیکل دارد.

واژه‌های کلیدی: پارامترهای هیدرولیکی، سرریز کنگره‌ای، شیب دیواره، ضریب دبی

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، آذربایجان شرقی، ایران

۲. گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی ملکان، آذربایجان شرقی، ایران

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mehdi.majedi@gmail.com

## مقدمه

برای تخلیه آب سیلاب‌ها و آب اضافی از بالادست به پایین دست سدها، از سازه‌هایی به نام سرریز استفاده می‌شود. باتوجه به حساس بودن مسئولیت سازه‌های سرریز، ضروری است این سازه مطمئن، قوی و با عملکرد زیاد باشد تا در هر زمان آمادگی کافی بهره‌برداری را داشته باشد. از اهداف ساخت سرریزها می‌توان به اندازه‌گیری شدت جریان، کنترل فرسایش خاک در رودخانه‌های با شیب زیاد نیز اشاره کرد. در شرایطی که محل احداث سرریز با محدودیت در عرض و سطح آب بالادست مواجه باشد، یکی از مهم‌ترین راهکارهای افزایش ظرفیت دبی، استفاده از سرریزهای کنگره‌ای هست که در این‌گونه از سرریزها، افزایش طول تاج سرریز با زیگزاگ کردن سرریز در پلان صورت می‌گیرد. به همین علت گرایش پژوهشگران به پژوهش در مورد ضریب دبی و کارایی سرریزها رو به افزایش بوده و در این راستا مطالعات تجربی و آزمایشگاهی زیادی برای بهبود و پیشبرد روش‌های تجربی به منظور محاسبه ضریب دبی، انتخاب هندسه مناسب و افزایش کارایی این‌گونه سرریزها انجام شده است. اولین بار جتیلینی به بررسی هیدرولیک سرریزهای کنگره‌ای پرداخت (۷). توسعه و طراحی سرریزهای کنگره‌ای توسط تیلور و بعد از آن توسط هی و تیلور شروع شد (۸ و ۲۲). دارواس نتایج پژوهش خود را ساده‌تر و جدا از برآورد دبی سرریز خطی ارائه کرد. همچنین یک دسته منحنی برای طراحی سرریزهای دوزنقه‌ای با شکل تاج ربع دایره‌ای ارائه کرد (۵). کولپند و فلچر بیان کردند، ظرفیت سرریزهای کنگره‌ای به دو پارامتر اندازه و جهت جریان نزدیک شونده حساس هستند (۳). همچنین تویس و همکاران سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای با ۴ سیکل و ۵ شکل تاج مختلف را بررسی کردند و دریافتند که ظرفیت سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای تابعی از بار هیدرولیکی کل، طول تاج مؤثر و ضریب آبگذری است (۲۳). ویلمور سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای را برای زوایای ۷ تا ۳۵ درجه مورد مطالعه قرار داد (۲۴). جعفری ندوشن به بهینه‌سازی هندسه سرریزهای کنگره‌ای با بهره‌گیری از مدل

فازی-عصبی و الگوریتم ژنتیک پرداخت و اعلام کرد از لحاظ اقتصادی، سرریز کنگره‌ای با شکل پلان دوزنقه‌ای نسبت به نوع مثلی آن مورد مناسب‌تری هست. به علاوه با استفاده از داده‌های به‌دست‌آمده از روش CFD و بر اساس طول‌های متفاوت، دماغه، روشی برای طراحی سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل ارائه کرد (۱۰). خود و همکاران با انگیزه افزایش دامنه اختیارات در طراحی سرریزهای کنگره‌ای، دسته‌ای دیگر از نمودارهای طراحی را در بازه گسترده‌تری از زاویه دیوار جانبی سرریز ارائه کردند (۱۱). سیمونز تأثیر تغییرات در هندسه سرریزهای کنگره‌ای بر روی عملکرد آن‌ها را مورد آزمایش قرار داد (۲۱). ماجدی و فولادی‌پناه استفاده از الگوریتم SVM را برای استفاده در شبیه‌سازی‌هایی که متغیر وابسته آزمایشگاهی تابع چندین متغیر مستقل است، توصیه کرده‌اند (۱۳). روشنگر و همکاران با پژوهش روی سرریزهای کنگره‌ای و کلید بیانویی به این نتیجه رسیدند، هرچه زاویه سیکل قوسی بیشتر باشد، عملکرد سرریز سرریزهای کنگره‌ای قوسی در دبی‌های کم بهتر هست (۲۰). ماجدی و همکاران کاربرد سیستم‌های تکاملی در تعیین ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای مثلی را بررسی کردند و بیان کردند، روش ماشین بردار پشتیبان در پیش‌بینی ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای لبه تیز عملکرد بسیار مناسبی دارد و می‌توان از این روش در موارد مشابه استفاده کرد (۱۲). ماجدی و همکاران به کاربرد الگوریتم SVM در پیش‌بینی عمق آبشستگی تک پایه قائم پرداختند (۱۵). آذریپوند و همکاران به صورت آزمایشگاهی، تأثیر افزایش طول مؤثر بر دبی عبوری سرریزهای کنگره‌ای دوزنقه‌ای شکل مرکب را بررسی کردند (۱). منجری و همکاران به بررسی آزمایشگاهی تأثیر شعاع قوس بر ضریب دبی در سرریزهای قوسی خطی و قوسی زیگزاگی با پلان مثلی پرداختند (۱۷). مشکواتی تروجنی و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی ضریب دبی در سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای دنداندار پرداختند (۱۶). بهره‌بر و همکاران به مطالعه عددی و آزمایشگاهی ترکیب سرریز کنگره‌ای با روزنه و تأثیر آن بر ضریب دبی جریان پرداختند (۲). ماجدی و همکاران با استفاده

شده‌اند و برای آرام کردن جریان از یک صفحه شیب‌دار متصل استفاده شده است. تا خطوط جریان موازی از کف فلوم به صفحه کف بند جریان یابد. طبق یافته‌های ویلمور تأثیری بر روی کارایی هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای ندارد (۲۴). برای هر دبی اندازه‌گیری شده جهت حصول اطمینان از جریان پایدار در کانال، اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی مانند عمق و دبی جریان بعد از ۱۰ دقیقه انجام گرفته است. برای اندازه‌گیری عمق آب نیز از عمق سنج میله‌ای (نقطه‌ای) با دقت ۰/۱ میل‌متر استفاده شده است این عمق‌سنج توانایی حرکت در طول و عرض کانال را دارا است. همچنین در انتهای فلوم از یک دریچه جهت کنترل رقم سطح جریان استفاده شده است. شماتیک کلی از فلوم آزمایشگاهی در شکل ۱ نشان داده شده است. همچنین پلان سرریزهای کنگره‌ای و پروفیل طولی جریان عبوری در شکل ۲ نیز نشان شده است. پارامترهای موجود در شکل ۲ عبارت است از: (W، عرض کانال پایین دست)، (R، شعاع قوس

$R = \left( \frac{W^2}{4} + r^2 \right)^{\frac{1}{2}}$  (R، زاویه قوس سرریز  $\theta = \left( \frac{W'}{R} \right)$ ،  $\alpha$ )، زاویه دیواره جانبی برای چرخه سرریز کنگره‌ای قوسی)، (A، عرض دماغه داخلی)، (L، طول خط مرکزی دیواره جانبی)، (t<sub>w</sub>)، ضخامت دیواره سرریز کنگره‌ای قوسی در تاج) است. در این پژوهش، ۱۶ مدل آزمایشگاهی ساخته شده است و در مجموع ۲۴۰ آزمایش انجام شده است. خلاصه‌ای از مدل‌های مورد آزمایش در جدول ۱ آورده شده است.

در جدول ۱، 80A علامت اختصاری سرریز بدون شیب دیواره و بدون زاویه سیکل قوسی است. 80B علامت اختصاری سرریز بدون شیب دیواره در زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه است، B علامت اختصاری زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه، C علامت اختصاری زاویه سیکل قوسی ۳۰ درجه و  $\theta$  بیانگر زاویه سیکل قوسی ۴۵ درجه است. در ابتدای علامت مدل‌ها، U بیانگر شیب دیواره به صورت همگرا (دماغه بالادست ۵ سانتی‌متر) و  $\Phi$  بیانگر شیب دیواره به صورت واگرا (دماغه پایین‌دست ۵ سانتی‌متر) است. همچنین E ها بیانگر سرریزهای کنگره‌ای قوسی با زوایای سیکل قوسی

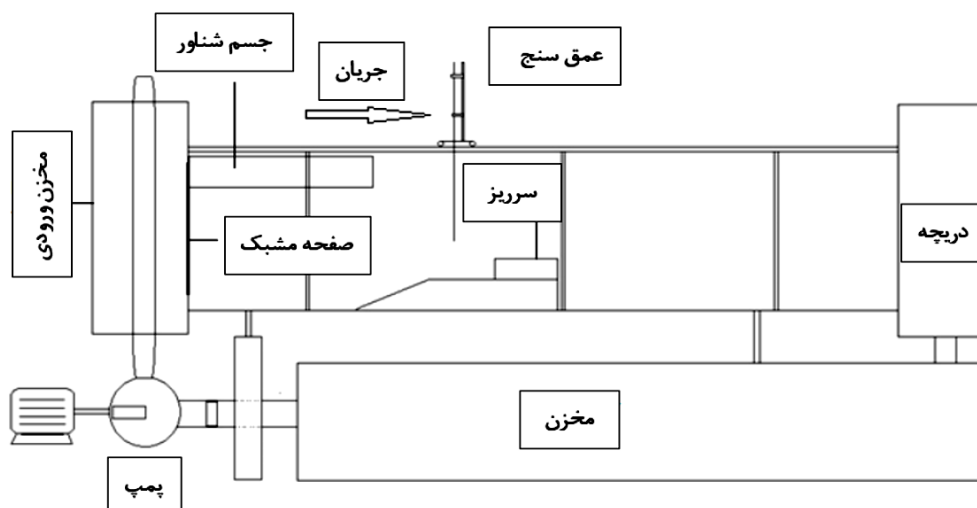
از روش‌های داده‌کاوی برای بهبود پیش‌بینی ضریب دبی در سرریزهای کلید پیاپویی و کنگره‌ای مطالعاتی انجام دادند. در این پژوهش، الگوریتم‌های SVM و GEP برای پیش‌بینی ضریب دبی (Cd) سرریز کلید پیاپویی (PKW)، سرریز کنگره‌ای مستطیلی (RLW) و سرریز کنگره‌ای دوزنقه‌ای (TLW) با مجموعه داده‌های آزمایشگاهی جمع‌آوری شده ارزیابی شد (۱۴). فولادی پناه و همکاران به کاربرد و ارزیابی شبیه‌سازی هندسه‌ی گودال آبستگي پایین دست سرریز سیفونی پرداختند (۶). امیدپورعلویان و همکاران به مدل‌سازی و ارزیابی ضریب دبی سرریز کنگره‌ای قوسی پرداختند (۱۸). امیدپورعلویان و همکاران به مقایسه راندمان هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای با شکل تاج ربع دایره و نیم دایره پرداختند (۱۹). هدف از این تحقیق بررسی شیب‌های متفاوت دیواره در زاویه‌های متفاوت سیکل قوسی (نسبت به حالت نرمال و عمودی) برای یافتن بهینه‌ترین شیب بدنه دیواره است.

## مواد و روش‌ها

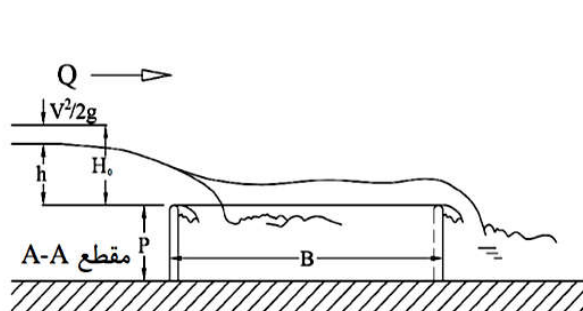
کلیه آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه مراغه در کانال روباز با مقطع مستطیلی به طول ۱۳ متر، عرض ۱۲۰ سانتی‌متر و عمق ۸۰ سانتی‌متر با سیستم جریان آزاد انجام شده است. این فلوم دارای کف فلزی است که جهت تأمین دبی مورد نیاز هر آزمایش از پمپ آب با قابلیت ایجاد تغییرات در دبی استفاده شده است که قدرت پمپاژ آن بین ۷ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه است.

دبی‌های موردنظر توسط دستگاه دبی‌سنج اولتراسونیک با دقت حدود ۰/۱٪ که حسگرهای آن بر روی لوله مکش پمپ نصب شده است، اندازه‌گیری شد. در ابتدای فلوم جهت آرام کردن جریان ابتدا از دو صفحه مشبک استفاده شده است که جریان ابتدا از این دو صفحه عبور کرده و در ادامه از یک صفحه شناور برای کاهش تلاطم سطح آب نیز استفاده شده است.

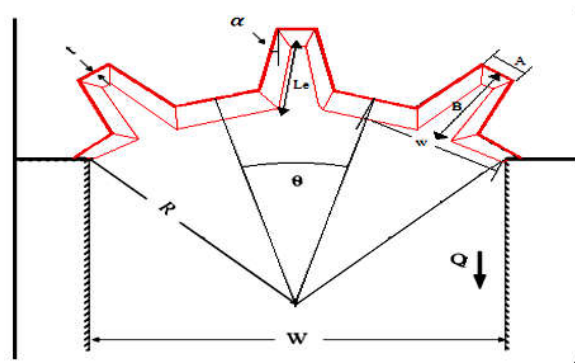
همه مدل‌های مورد آزمایش بر روی کف‌بند شیشه‌ای نصب



شکل ۱. شماتیک کلی از امکانات فلوم آزمایشگاهی



(ب)



(الف)

شکل ۲. الف) پلان سرریزهای کنگره‌ای (با شیب دیواره‌ها) ب) پروفیل طولی جریان بر روی سرریزهای کنگره‌ای (۴)

زاویه قوسی ۲۰ درجه مورد مطالعه قرار گرفته است. طول بدنه (هر دیواره) مدل‌ها ۳۵ سانتی‌متر است (به جز مدل‌های E که ۲۵ سانتی‌متر هستند). مدل‌های سرریز از جنس پلی‌اتیلن و با ضخامت ۱ سانتی‌متر ساخته شد. سرریزها در فاصله ۴ متری از بالادست کانال و در عرض ۸۰ سانتی‌متری (۲۰ سانتی‌متر فشردگی از هر ساحل یا دیواره) نصب شده و بعد از حصول اطمینان از استقرار جریان پایدار، اندازه‌گیری پارامترهای هیدرولیکی انجام گرفته است. محدوده تغییرات دبی در این پژوهش، ۷ تا ۶۰ لیتر بر ثانیه بوده و برای محاسبه ضریب جریان (Cd) در سرریزهای کنگره‌ای از معادله عمومی جریان روی

متفاوت و بدون شیب دیواره و با نسبت بزرگنمایی کوچکتر نسبت به سایر مدل‌ها (طول دیواره ۲۵ سانتی‌متری) هستند. N بیانگر سرریزهای با تعداد سیکل متفاوت هستند. همان‌طور که در جدول ۱ مشخص است، ۳ مدل بدون شیب دیواره و با زوایای قوسی متفاوت بررسی شده است. ۴ مدل با زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه به صورت همگرایی و واگرایی با زوایای ۱۰ و ۲۰ مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و ۳ مدل با زاویه سیکل قوسی ۳۰ درجه و با همگرایی و واگرایی دیواره با زاویه ۱۰ و ۲۰ درجه مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. ۴ مدل با نسبت بزرگنمایی متفاوت و با زوایای قوسی مختلف و همچنین ۲ مدل با تعداد سیکل ۴ و ۵ با

جدول ۱. مشخصات مدل‌های فیزیکی ساخته شده در این تحقیق

ردیف	علامت مدل Experiment	نوع سرریز Weir type	ارتفاع سرریز P	طول دماغه بالادست Au	طول دماغه پایین دست Ad	تعداد سیکل N	نسبت بزرگ‌نمایی Lc/w	زاویه شیب دیواره‌ها φ	زاویه سیکل قوسی θ
۱	80A	کنگره‌ای	۱۰ cm	۵	۵	۴	۲/۸۱	۰	۰
۲	80B	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۴	۲/۸۱	۰	۲۰
۳	80C	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۴	۲/۸۱	۰	۳۰
۴	80D	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۴	۲/۸۱	۰	۴۵
۵	U10B	کنگره‌ای قوسی	۹/۸۵ cm	۵	۸	۳	۲/۹۴	۱۰	۲۰
۶	D10B	کنگره‌ای قوسی	۹/۸۵ cm	۸	۵	۳	۲/۹۴	۱۰	۲۰
۷	U20B	کنگره‌ای قوسی	۹/۴ cm	۵	۱۱/۵	۳	۳/۰۶	۲۰	۲۰
۸	D20B	کنگره‌ای قوسی	۹/۴ cm	۱۱/۵	۵	۳	۳/۰۶	۲۰	۲۰
۹	U10C	کنگره‌ای قوسی	۹/۸ cm	۵	۸	۳	۲/۹۴	۱۰	۳۰
۱۰	D10C	کنگره‌ای قوسی	۹/۸ cm	۸	۵	۳	۲/۹۴	۱۰	۳۰
۱۱	U20C	کنگره‌ای قوسی	۹/۴ cm	۵	۱۱/۵	۳	۳/۰۶	۲۰	۳۰
۱۲	E20	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۳	۲/۲۱	۰	۲۰
۱۳	E30	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۳	۲/۲۱	۰	۳۰
۱۴	E40	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۳	۲/۲۱	۰	۴۰
۱۵	E50	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۳	۲/۲۱	۰	۵۰
۱۶	N4	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۴	۳/۹	۰	۲۰
۱۷	N۵	کنگره‌ای قوسی	۱۰ cm	۵	۵	۵	۴/۳۲	۰	۲۰

سرریزها مطابق رابطه (۱) استفاده شده است (۹):

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_c \sqrt{2g} H_t^{1.5} \quad (1)$$

در این رابطه Q، شدت جریان عبوری از روی سرریز کنگره‌ای قوسی برحسب مترمکعب بر ثانیه،  $L_c$  طول تاج سرریز برحسب متر،  $H_t$  بار کل جریان بالادست نسبت به تاج سرریز برحسب متر،  $C_d$  ضریب شدت جریان و  $g$  شتاب ثقل برحسب متر بر مجذور ثانیه است.

با استفاده از روش تحلیل ابعادی و با در نظر گرفتن پارامترهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی، پارامترهای

مؤثر بر ضریب دبی جریان در سرریزهای کنگره‌ای شامل  $H_t$  ارتفاع انرژی کل جریان بالادست نسبت به تاج سرریز،  $P$  ارتفاع تاج سرریز در سراب،  $D$  ارتفاع تاج سرریز در پایاب،  $L_c$  طول تاج سرریز،  $t$  ضخامت دیواره سرریز،  $S_0$  شیب کف بستر،  $W$  عرض سرریز،  $H_d$  بار هیدرولیکی کل در پایاب سرریز،  $g$  شتاب ثقل،  $\sigma$  ضریب کشش سطحی،  $\mu$  لزجت دینامیکی،  $\rho$  جرم مخصوص،  $Se$  عامل تعیین کننده شکل مقطع سرریز،  $N$  تعداد سیکل،  $\alpha$  زاویه دیواره،  $\theta$  زاویه سیکل قوسی،  $\phi$  زاویه شیب دیواره‌ها و  $A$  طول

80C و 80D نسبت به  $Ht/P$  برای بررسی تغییر زاویه سیکل قوسی بر عملکرد سرریزهای کنگره‌ای قوسی بدون شیب دیواره ترسیم شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، بالاترین منحنی مربوط به 80B است و کمترین ضریب دبی متعلق به مدل 80A (سرریز غیر قوسی) است. یعنی با قوسی کردن این سرریزها، ضریب دبی نسبت به حالت غیر قوسی (کنگره‌ای خطی) افزایش می‌یابد که علت آن شکل قوسی این مدل‌ها است که باعث بهبود جهت جریان به سوی سیکل‌ها می‌شود. به این صورت که جهت جریان با جهت دیواره سرریزها به زاویه ۹۰ درجه نزدیک‌تر می‌شود و باعث کاهش نامتوازن ورود جریان به سیکل‌های مختلف می‌شود. به عبارتی دیگر، شکل قوسی سرریزها با استفاده از همگرایی طبیعی جریان ورودی به سیکل‌ها سبب افزایش کارایی می‌شود. همچنین نتایج نشان داد، هر چه زاویه سیکل قوسی بیشتر می‌شود، ضریب دبی آن کاهش می‌یابد که علت این پدیده در این پژوهش این است که به سبب افزایش زاویه سیکل قوسی، دیواره و دماغه سرریز (اولین و آخرین سیکل) به سمت دیواره‌های فلوم نزدیک شده و باعث کاهش توازن در توزیع جریان به این سیکل‌ها می‌شود که همین امر سبب کاهش راندمان این سرریزها شده است. ولی در شرایط بهتر و فشردگی جانبی بیشتر در فلوم، می‌تواند این شرایط را از بین ببرد و با افزایش زاویه سیکل قوسی، ضریب دبی نیز افزایش یابد.

در شکل ۵ که کارایی سیکل ۴ طبق رابطه ۶ ترسیم شده است (۲۱ و ۲۴)، باتوجه به افزایش زاویه سیکل قوسی سرریز، همچنان مدل 80B نسبت به سایر مدل‌ها از کارایی بیشتری برخوردار است.

$$\varepsilon' = Cd \times M \quad (6)$$

که در آن  $\varepsilon'$  کارایی سرریز،  $M=Lc/W$  و معادل بزرگ‌نمایی سرریز است. همچنین  $Lc$  طول مؤثر سرریز و  $W$  عرض سرریز است.

داخلی دماغه است. پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی در رابطه (۲) مشخص شده است:

$$Cd = f(Ht, P, D, Lc, t, S0, W, Hd, g, \sigma, \mu, \rho, Se, N, \alpha, A, \varphi, \theta) \quad (2)$$

باتوجه به عدم تراکم جریان در سرریزها، می‌توان از اثر تغییرات جرم مخصوص جریان ( $\rho$ ) صرف‌نظر کرد. همچنین باتوجه به اینکه جریان متلاطم است، می‌توان از اثر نیروی لزجت و کشش سطحی نیز صرف‌نظر کرد (انجمن مهندسين عمران آمریکا، ۲۰۰۰). در نتیجه رابطه ۳ به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Cd = f(Ht, P, D, Lc, t, S0, W, Hd, g, Se, N, \alpha, A, \varphi, \theta) \quad (3)$$

با کمک آنالیز ابعادی و پس از ترکیب کردن می‌توان رابطه ۴ را به صورت زیر نمایش داد:

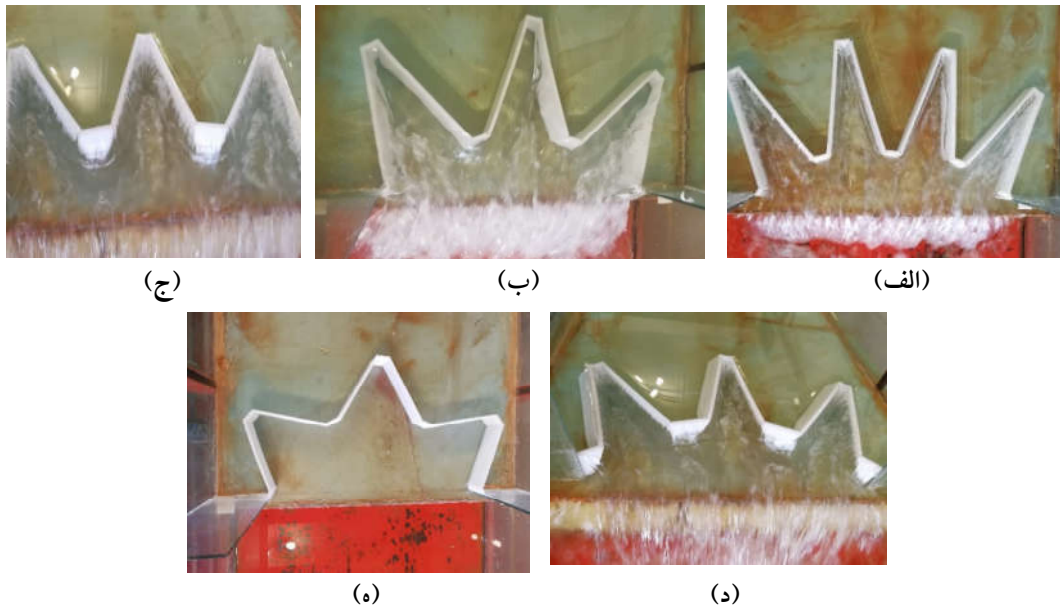
$$Cd = f\left(Ht/P, \frac{W}{P}, \frac{t}{P}, \frac{D}{P}, Hd/Ht, \frac{A}{t}, Se, S0, N, \alpha, \varphi, \theta\right) \quad (4)$$

در شکل (۳) مدل‌های آزمایشگاهی سرریز کنگره‌ای نشان داده شده است. معادله (۴) رابطه کلی پارامترهای بی‌بعد در سرریز کنگره‌ای را نمایش می‌دهد؛ بنابراین باتوجه به اینکه شیب کف کانال ثابت بوده و شکل تاج سرریز یکسان است، می‌توان از پارامترهای  $Se$  و  $S0$  چشم‌پوشی کرد. سرریزها در همه آزمایش‌ها به شکل آزاد عمل می‌کنند. در نتیجه پارامتر  $Hd/Ht$  از معادله بالا حذف می‌شود. با نظر به اینکه عرض کانال، ضخامت، زاویه دیواره و ارتفاع سرریزها ثابت هستند، بنابراین پارامترهای  $\alpha$ ،  $\left(\frac{W}{P}\right)$ ،  $\left(\frac{t}{P}\right)$ ، و  $N$  نیز از معادله حذف می‌گردند و رابطه زیر به دست می‌آید که باتوجه به این رابطه به بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر پرداخته می‌شود:

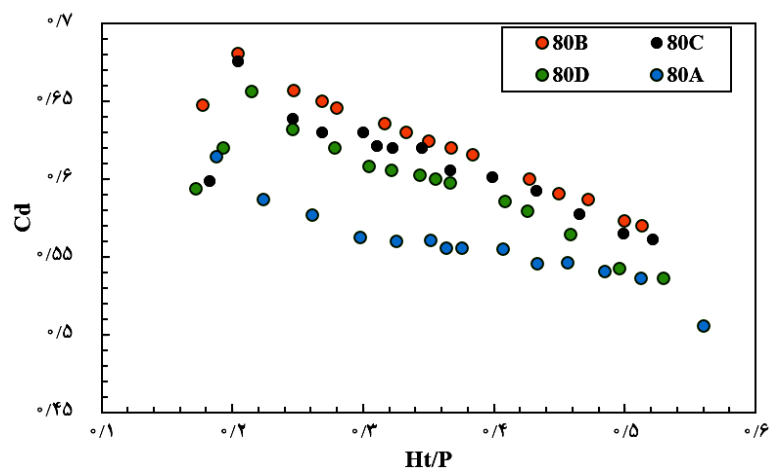
$$f\left(\frac{Q}{Lc\sqrt{gH_0^{1.5}}}, Ht/P, \frac{A}{t}, \varphi, \theta\right) = 0 \quad (5)$$

## نتایج و بحث

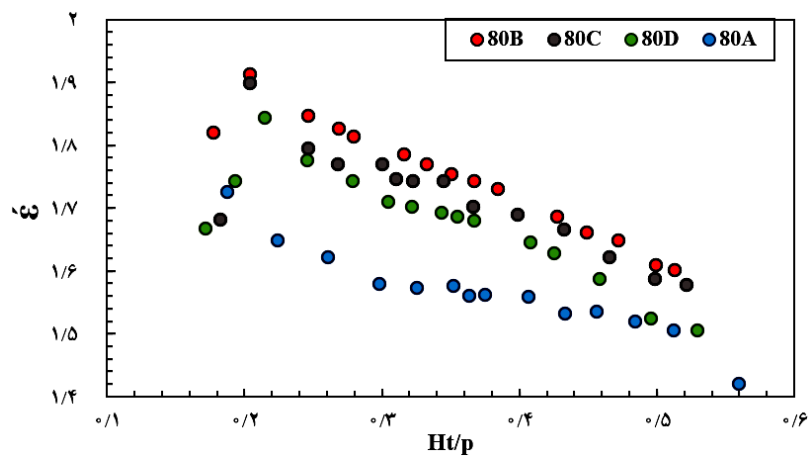
در شکل ۴ ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای مدل 80A، 80B،



شکل ۳. الف) N4 (ب) 80C (ج) U10B (د) U20C (ه) E50



شکل ۴. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی با زوایای قوسی متفاوت بدون شیب دیواره نسبت به بار آبی



شکل ۵. منحنی کارایی سرریزهای کنگره‌ای قوسی با زوایای قوسی متفاوت بدون شیب دیواره نسبت به بار آبی

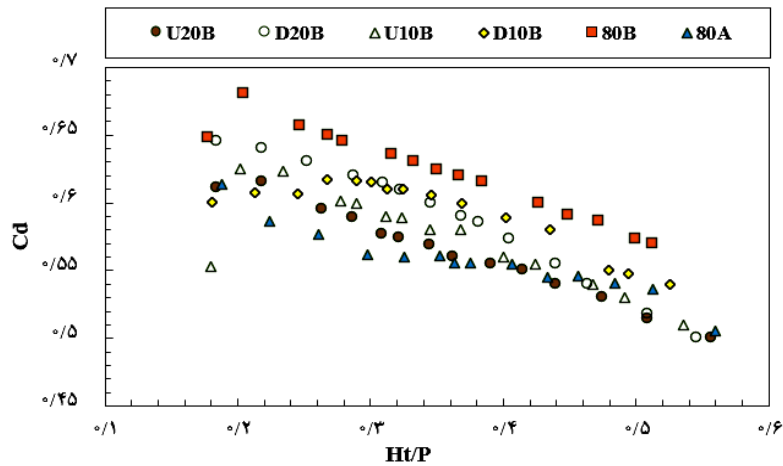
کارایی بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. اما به مرور با افزایش  $Ht/P$ ، این کارایی کاسته شده است که دلیل آن را می‌توان افزایش طول دماغه و طول کل تاج سرریز و در نتیجه افزایش بزرگنمایی سرریزهایی که دیواره آن‌ها شیب‌دار شده‌است، برشمرد. بعد از مدل یادشده، در  $Ht/P \geq 0.3$  مدل  $D10B$  از عملکرد بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. اما در اعداد کمتر از این محدوده و دبی‌های کمتر، مدل  $80B$  و  $U20B$  از عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند و در نهایت مدل  $80A$  کمترین عملکرد را نسبت به سایر مدل‌ها داراست.

همچنین در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به بررسی مدل  $U10C$ ،  $D10C$  و  $U20C$  پرداخته شده است. قابل ذکر است، مدل  $D20C$  (مدل سرریز با شیب دیواره ۲۰ درجه به صورت واگرا در سیکل قوسی ۳۰ درجه) باتوجه به محدودیت‌های آزمایشگاهی قابل اجرا نبوده‌است. باتوجه به شکل، همچنان مدل  $80B$  از عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. پس از این مدل، در محدوده  $Ht/P \leq 0.24$  عملکرد مدل  $U20C$  بهتر از سایر مدل‌ها بوده است و پس از این ناحیه، مدل  $D10C$  عملکرد بهتری تا  $Ht/P = 0.4$  داشته است. اما پس از این ناحیه تقریباً مماس با نمودار  $U10C$  شده است. همچنین مدل  $80A$  تا  $Ht/P = 0.45$  کمترین عملکرد را نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. اما پس از این مدل، نمودار  $U20C$  عملکرد کمتری را ثبت کرده است که باتوجه به مواردی که قبل‌تر نیز ذکر شد، دلیل آن را می‌توان کوتاه بودن طول دماغه بالادست و ایجاد تداخل در تیغه‌ها و در نتیجه استغراق موضعی سریع تر بیان کرد. شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نمودار کارایی مدل‌های یادشده را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، مدل  $U20C$  که دارای زاویه سیکل قوسی ۳۰ درجه است، از کارایی بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است و کمترین منحنی مربوط به مدل  $80A$  است که نشان دهنده این است که قوسی کردن سرریزهای کنگره‌ای علاوه بر اینکه باعث افزایش ضریب دبی

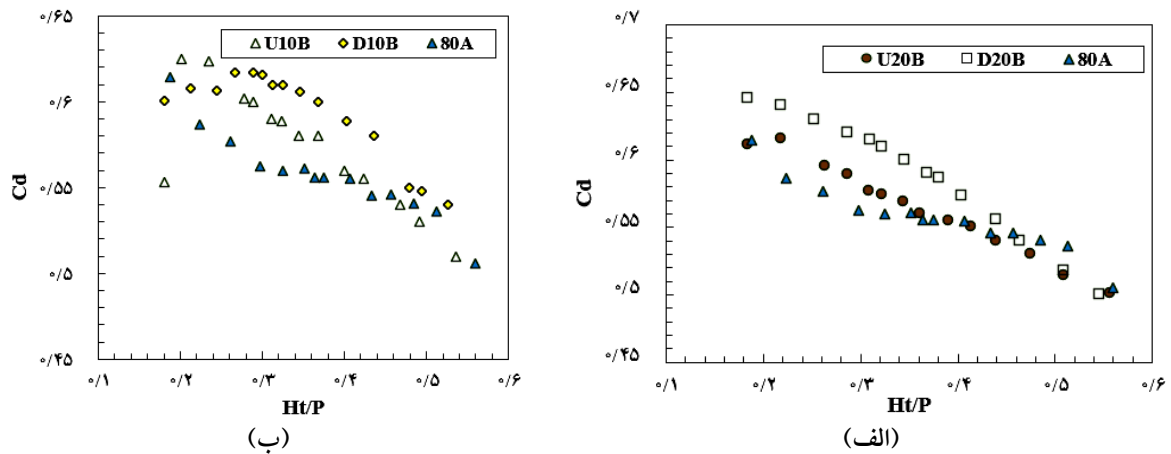
در شکل‌های ۶ و ۷ به منظور بررسی تغییر طول دماغه بالادست و پایین دست (همگرایی و واگرایی دیواره) بر ضریب دبی، مدل  $U20B$ ،  $D20B$ ،  $U10A$ ،  $D10B$  با دو مدل  $80A$  و  $80B$  مورد مقایسه گرفته‌اند. همان‌طور که مشخص است، مدل  $80B$  عملکرد بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار است. یعنی شیب‌دار کردن دیواره این سرریزها باعث کاهش ضریب دبی شده است. مدل  $D20B$  در ناحیه  $Ht/P < 0.31$  عملکرد بهتری نسبت به مدل‌های دیگر داشته، اما بعد از این ناحیه و در دبی‌های بیشتر، سرریز  $D10B$  ضریب دبی بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. بعد از آن سرریز  $U10B$  نسبت به سرریز  $U20B$  ضریب دبی بیشتری داشته است و در نهایت سرریز  $80A$  (کنگره‌ای خطی) از کمترین عملکرد برخوردار است. به عبارتی دیگر، سرریزهای با واگرایی دیواره به صورتی که دماغه بالادست ۵ سانتی‌متری است، عملکرد بهتری نسبت به سرریزهای همگرا داشته‌اند. در مدل  $D10B$  باتوجه به اینکه دماغه بالادست دارای طول بیشتری است، تداخل تیغه‌ها رخ نمی‌دهد و همچنین در این سرریز به دلیل واگرایی دیواره‌ها، عرض و ابعاد دهانه خروجی سیکل‌ها بزرگتر شده و استغراق موضعی بسیار دیرتر رخ می‌دهد. ولی در سرریز  $U10B$  باتوجه به کوچکتر بودن طول دماغه بالادست و همگرا بودن (عرض و ابعاد دهانه خروجی کوچک‌تر)، این مدل زودتر به حالت استغراق موضعی می‌رسد که علت آن را می‌توان به این صورت بیان کرد: برای نمونه در سرریز مدل  $U10B$  باتوجه به دماغه ۵ سانتی‌متری در بالادست، تداخل تیغه‌های جریان بیشتر شده است، ولی در مدل  $D10B$  باتوجه به افزایش طول دماغه بالادست (۸ سانتی‌متر)، تداخل تیغه‌های جریان کمتر شده است و سبب افزایش ضریب آبگذری شده است. به عبارتی دیگر، تغییر طول دماغه در بالادست و پایین دست سبب توزیع نامتوازن جریان روی مدل‌ها شده است.

مطابق شکل‌های ۸ و ۹، نمودار کارایی مدل‌های یادشده ترسیم شده است. همان‌طور که مشخص است، مدل  $D20B$  از

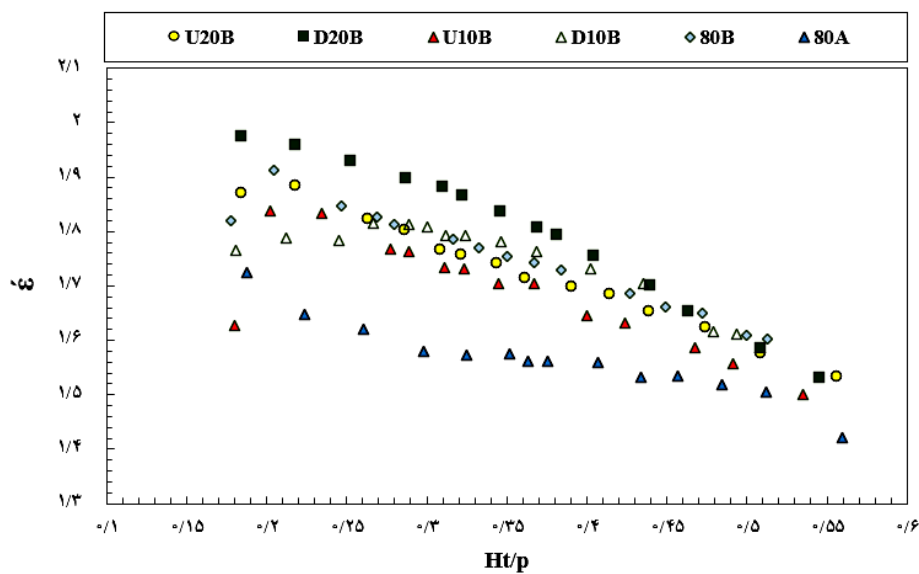




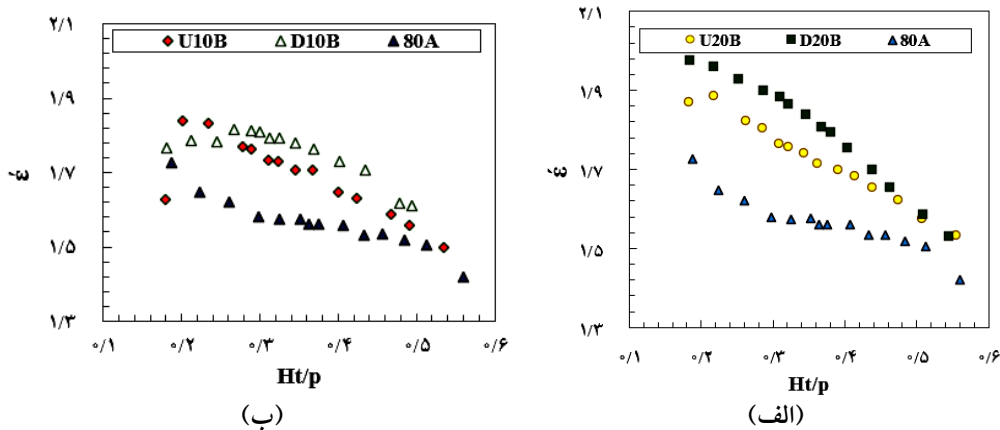
شکل ۶. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه



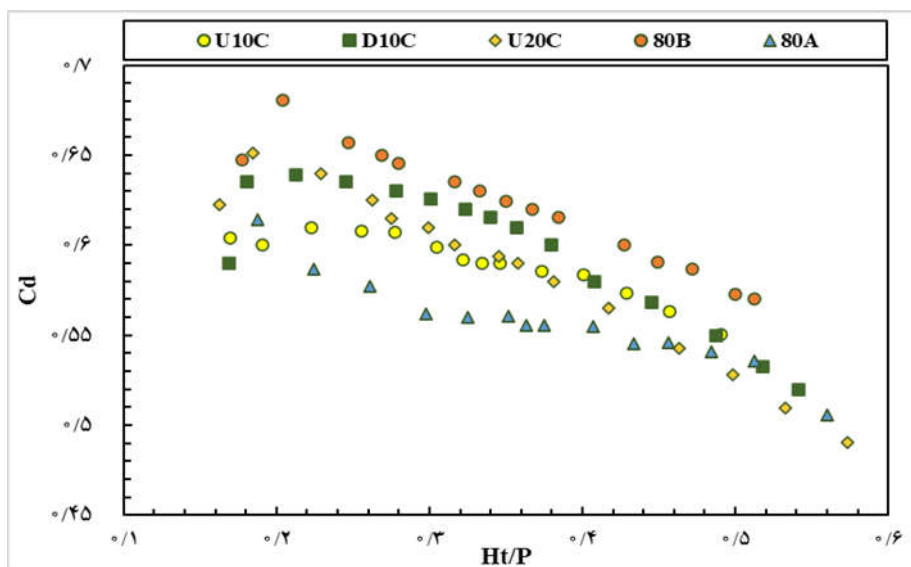
شکل ۷. الف) منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه با شیب دیواره ۲۰ درجه نسبت به بار آبی  
 ب) منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ درجه نسبت به بار آبی



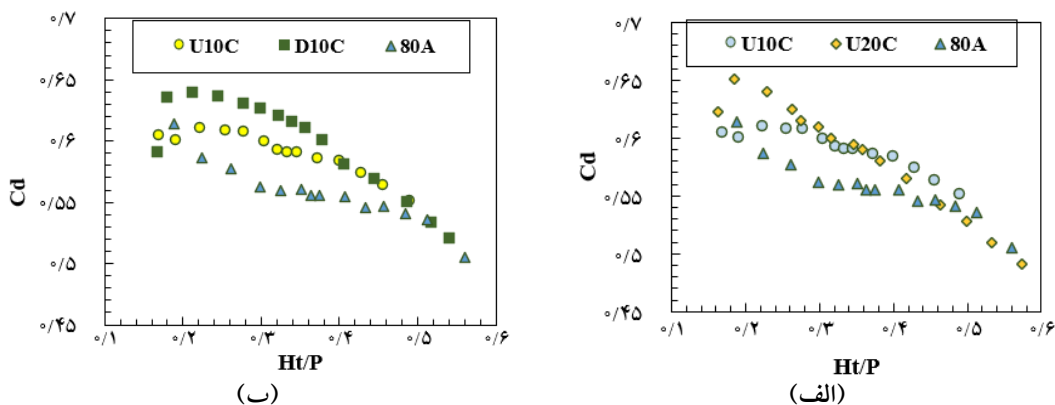
شکل ۸. منحنی کارایی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه نسبت به بار آبی



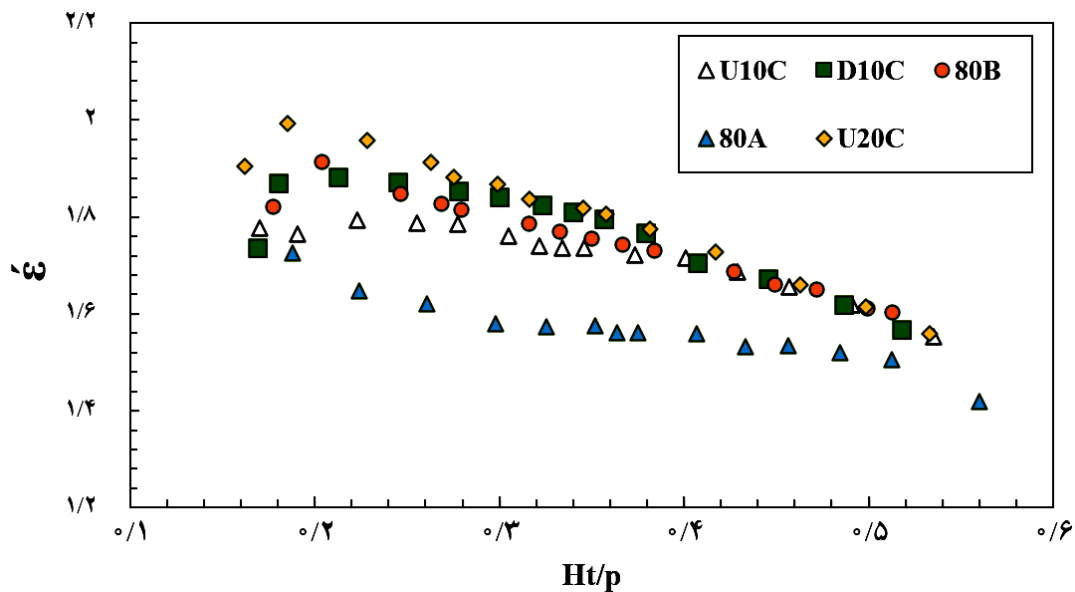
شکل ۹. الف) منحنی کارایی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه با شیب دیواره ۲۰ درجه نسبت به بار آبی (ب) منحنی کارایی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ درجه نسبت به بار آبی



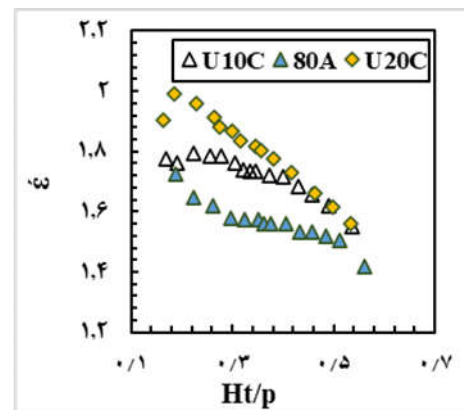
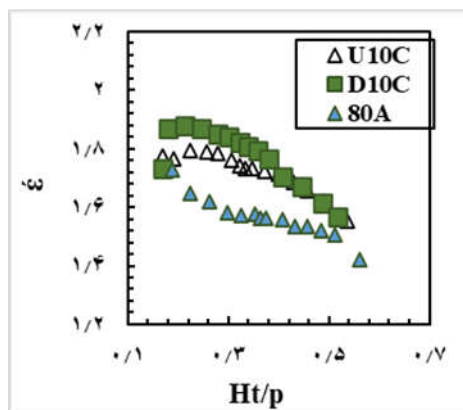
شکل ۱۰. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۳۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه



شکل ۱۱. الف) منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۳۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه به صورت همگرا نسبت به بار آبی (ب) منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۳۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ درجه نسبت به بار آبی



شکل ۱۲. منحنی کارایی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۳۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه نسبت به بار آبی

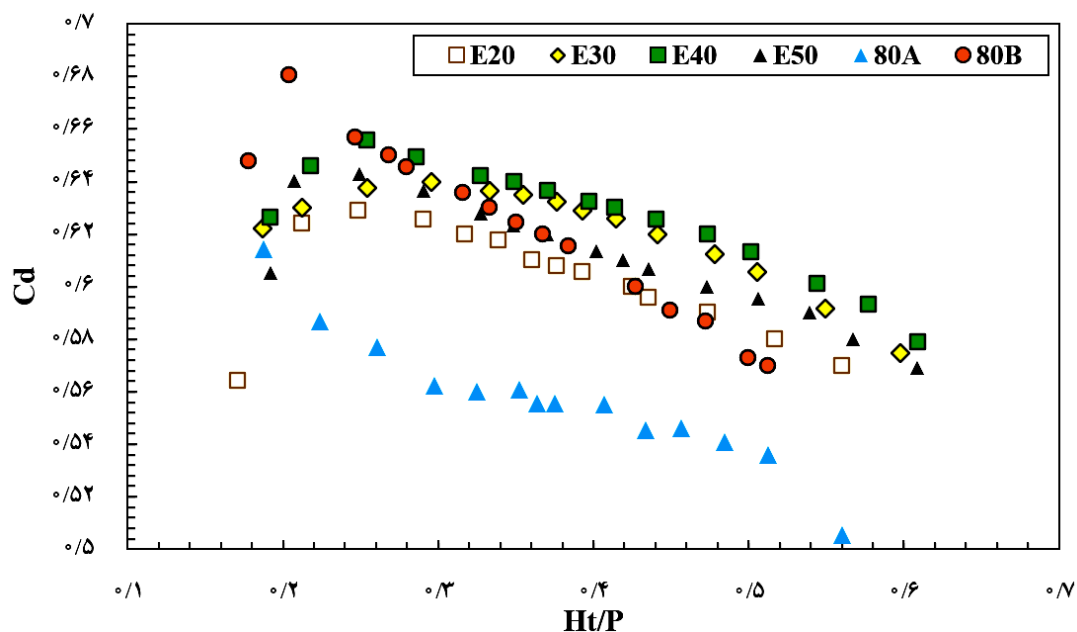


شکل ۱۳. الف) منحنی دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۳۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه به صورت همگرا نسبت به بار آبی، ب) منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۳۰ درجه با شیب دیواره ۱۰ درجه نسبت به بار آبی

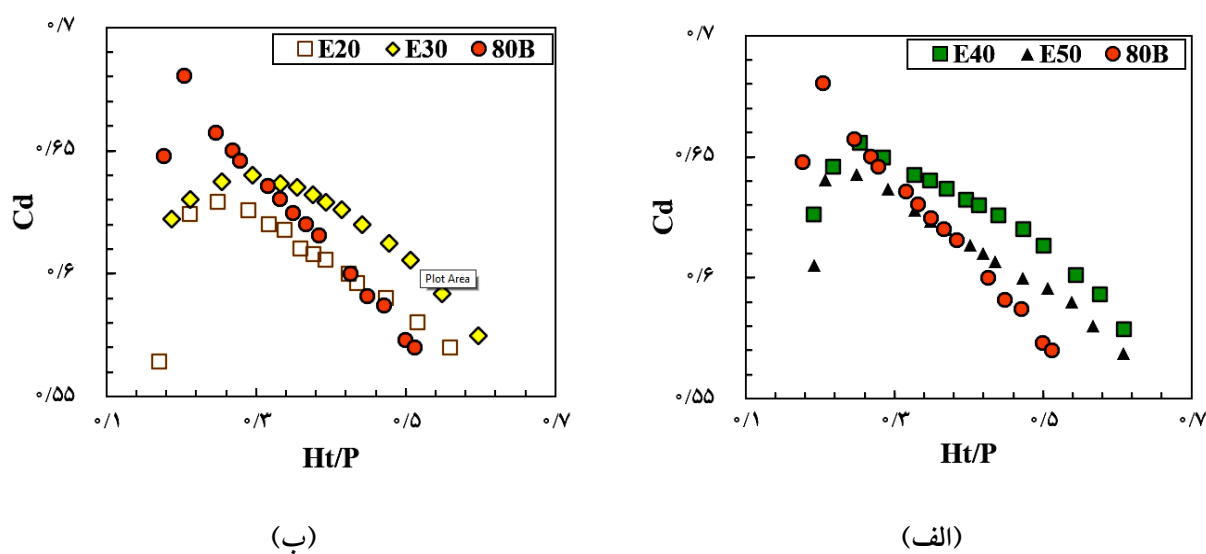
مشاهده و بررسی بیشتر ترسیم شده‌است و همان‌طور که پیش‌تر در جدول ۱ بیان شد، طول دماغه در بالادست و پایین‌دست آن‌ها ثابت و برابر ۵ سانتی‌متر و تنها زاویه سیکل قوسی آن‌ها و طول دیواره‌ها (از ۳۴ سانتی‌متر به ۲۶ سانتی‌متر) تغییر کرده‌است. باتوجه به شکل، مدل E40 (سرریز کنگره‌ای قوسی با زاویه سیکل قوسی ۴۰ درجه) نسبت به سایر مدل‌ها از عملکرد بهتری برخوردار است همچنین مدل E20 نیز از کمترین عملکرد برخوردار است و در مقایسه با منحنی 80B که هر دو زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه دارند، در  $Ht/P \leq 0.42$

می‌شود، کارایی آن‌ها را نیز به شکل چشمگیری افزایش می‌دهد. در سایر مدل‌ها در محدوده  $Ht/p \leq 0.24$ ، عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته‌است. اما در  $0.24 \leq Ht/P \leq 0.40$ ، مدل D10C عملکرد زیادی داشته و نزدیک به نمودار U20C است. بعد از این ناحیه و در دبی‌های زیاد، منحنی‌ها تقریباً مماس بر هم هستند.

در شکل‌های ۱۴ و ۱۵ به بررسی مدل‌هایی پرداخته شده است که از نسبت بزرگنمایی (۲/۲۱) کمتری نسبت به سایر مدل‌ها برخوردار هستند. البته مدل 80A و 80B نیز برای



شکل ۱۴. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی در زوایای متفاوت و بدون شیب دیواره نسبت به بار آبی



شکل ۱۵. الف) منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی E50 و E40 نسبت به بار آبی

ب) منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی E30 و E20 نسبت به بار آبی

دیواره‌ها زودتر به استغراق موضعی رسیده و بنابراین ضریب دبی آن کاهش می‌یابد. نکته قابل توجه در این شکل این است که E50، عملکرد کمتری نسبت به E40 داشته و با اختلاف کمی از E20 بیشتر است که علت آنرا

عملکرد مدل 80B با نسبت بزرگ‌نمایی بیشتر، از عملکرد بهتری برخوردار است. اما پس از این ناحیه، E20 عملکرد بهتری داشته است که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که با افزایش دبی، مدل 80B به دلیل بزرگتر بودن طول

مورد آزمایش، این سرریز همچنان نسبت به دو مدل دیگر از کارایی بیشتری برخوردار است. اما باتوجه به انتهای منحنی، امکان دارد در دبی‌های بیشتر از بازه آزمایش نیز باتوجه به کاهش ضریب دبی کارایی، این مدل هم کاهش یابد و کمتر از دو مدل دیگر شود.

همچنین در شکل ۱۸ منحنی تغییرات دبی نسبت به بار آبی نشان داده شده است که طبق آن، در یک بار آبی مشخص اختلاف چشمگیری وجود دارد. برای نمونه می‌توان گفت، در  $Ht/P \approx 0.20$  به ترتیب ۲۳، ۱۸ و ۱۳ لیتر بر ثانیه است. به این صورت سرریز N5، بیشترین ظرفیت انتقال دبی را نسبت به سایر مدل‌های یادشده دارد.

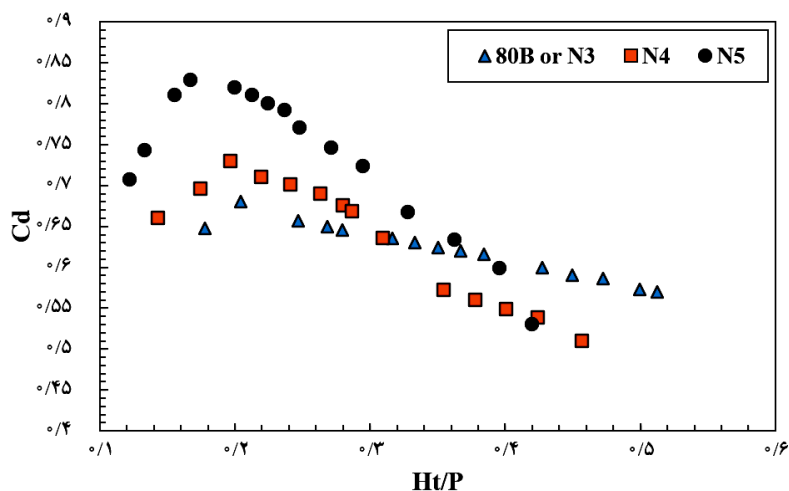
### نتیجه‌گیری

سرریز کنگره‌ای غیر قوسی (کنگره‌ای خطی) با طول دماغه بالادست و پایین دست ۵ سانتی‌متر (مدل شاهد)، ضریب دبی کمتری نسبت به سرریزهای کنگره‌ای قوسی دارد. به بیانی دیگر، قوسی کردن سرریزهای کنگره‌ای باعث بهبود عملکرد آنها می‌شود که با پژوهش روشنگر و همکاران (۲۰) مطابقت دارد و مدل شاهد با زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه به دلیل فاصله مناسب تا دیواره‌های کانال، از بیشترین ضریب دبی برخوردار بوده است و همچنین سایر مدل‌های بدون همگرایی و واگرایی نیز عملکرد کمتری نسبت به مدل با سیکل قوسی ۲۰ درجه دارند. در سرریزهای با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه و زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه، مدل D20B در  $Ht/p$  کمتر از 0/36 عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌های با زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه دارد و پس از این ناحیه و در مقادیر بیشتر، دبی سرریز D10B از ضریب دبی بیشتری برخوردار است. همچنین در سرریزهای با شیب دیواره ۱۰ و ۲۰ درجه با

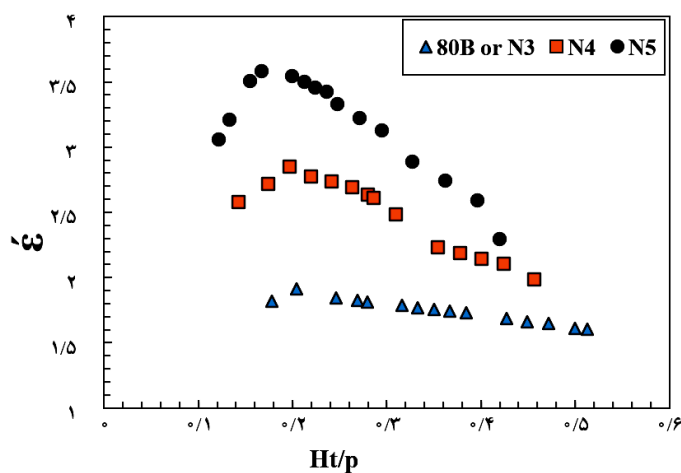
می‌توان این‌گونه بیان کرد که چون سیکل‌های سرریز به دیواره‌های کانال نزدیک شده‌اند، حجم بیشتر جریان به سیکل وسط وارد شده و دیواره‌های کانال باعث می‌شود که به سیکل‌های کناری حجم کمتری از جریان وارد شود. می‌توان گفت، توزیع جریان در سیکل‌ها مساوی نبوده و همین امر سبب شده است که در این مدل، ضریب دبی با افت بیشتری همراه شود.

در شکل ۱۶ به مقایسه سرریزهای کنگره‌ای قوسی با زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه با سیکل‌های متفاوت پرداخته شده است. با دقت در شکل می‌توان دریافت که سرریز قوسی N5 (با ۵ سیکل) در دبی‌های کم، عملکرد بهتری داشته است. به طوری که در نقطه اوج آن یعنی در  $Ht/P \approx 0.16$ ، به ترتیب اختلاف ۱۳ و ۱۷ درصدی با سرریزهای دیگر دارد و برعکس سرریز 80B، در دبی‌های کم دارای ضریب دبی کمتری است. اما در ادامه، عملکرد N5 بعد از  $Ht/P \approx 0.36$  به تدریج کاهش یافته است. به طوری که ابتدا زیر منحنی 80B و در ادامه پایین تر از N4 نیز قرار می‌گیرد که علت آن را می‌توان به این صورت بیان کرد که چون با افزایش تعداد سیکل‌ها و افزایش دبی، عرض و ابعاد دهانه‌های خروجی کمتر شده و زودتر به حالت استغراق موضعی رسیده و ضریب دبی کاهش یافته است. همچنین مدل 80B در دبی‌های بیشتر به تدریج عملکرد بهتری نسبت به دو مدل دیگر دارد؛ بنابراین در دبی‌های زیاد، عملکرد سرریز 80B بهتر از دو مدل دیگر است که علت آن را می‌توان چنین بیان کرد که هر چه تعداد سیکل افزایش یابد، سرریز در دبی‌های زیاد سریع‌تر به حالت استغراق موضعی می‌رسد و عملکرد آن کاهش می‌یابد.

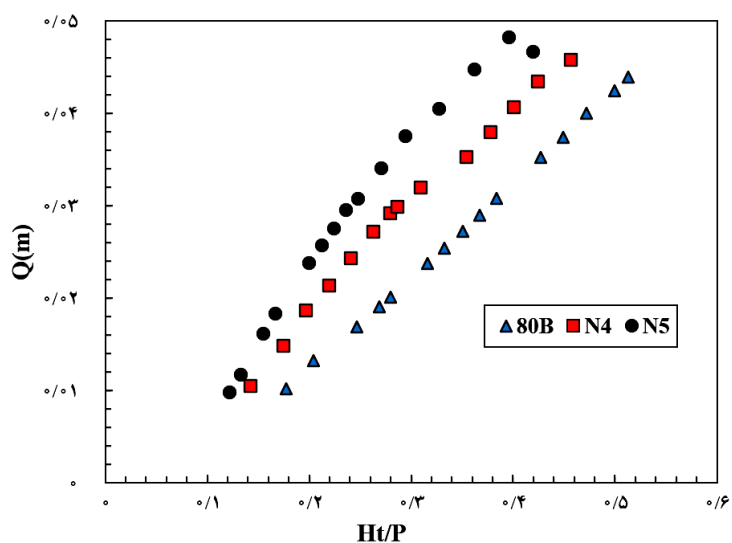
بر اساس شکل ۱۷ که رابطه کارایی سرریز را نشان می‌دهد، باتوجه به افزایش نسبت بزرگنمایی در سرریز N5 در بازه دبی



شکل ۱۶. منحنی تغییرات ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه چند سیکل بدون شیب دیواره نسبت به بار آبی



شکل ۱۷. منحنی کارایی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه بدون شیب دیواره با سیکل‌های مختلف



شکل ۱۸. منحنی تغییرات دبی سرریزهای کنگره‌ای قوسی ۲۰ درجه چند سیکل بدون شیب دیواره نسبت به بار آبی

سایر مدل‌ها برتری بیشتری دارد. اما در دبی‌های زیاد با عملکرد به نسبت مشابهی روبه‌رو می‌شود. به طوری که در اعداد بزرگتر  $Ht/P \approx 0.33$  از، شاهد تلاقی منحنی‌ها شده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت، در دبی‌های کم با در نظر گرفتن شرایط اقتصادی سرریزهای کنگره‌ای ۵ سیکل در زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه، عملکرد بهتری داشته‌اند. به طور کلی سرریز با ۵ سیکل در زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه (N5)، بیشترین عملکرد را نسبت به سایر مدل‌های مورد آزمایش در این پژوهش دارد. اما چنانچه محدودیت تعداد سیکل ۳ باشد، سرریز بدون شیب دیواره در زاویه سیکل قوسی ۲۰ درجه (80B) به منظور بهره‌برداری پیشنهاد می‌شود.

سیکل قوسی ۳۰ درجه نیز در محدوده  $Ht/P \leq 0.24$ ، عملکرد مدل U20C بهتر از سایر مدل‌ها بوده است و پس از این ناحیه، مدل D10C عملکرد بهتری تا  $Ht/P = 0.4$  داشته است و پس از این ناحیه، تقریباً عملکرد مشابهی دارند. با تغییر در زاویه سیکل قوسی و همچنین کوچکتر کردن بزرگنمایی می‌توان گفت، هرچه زاویه سیکل قوسی بیشتر شود، عملکرد بهتر می‌شود. اما در شرایط خاص مانند مورد ایجاد شده در این پژوهش (یعنی مدل E50)، نزدیک شدن سیکل‌ها به دیواره کانال باعث می‌شود عملکرد و ضریب دبی با کاهش روبه‌رو شود. همچنین با افزایش تعداد سیکل‌ها در یک زاویه سیکل قوسی مشخص می‌توان نتیجه گرفت، عملکرد مدل N5 (۵ سیکل) نسبت به

### منابع مورد استفاده

1. Azarpeyvand, H., A R. Emadi and M. Sedghi Asl. 2019. An Experimental Study of the Discharge of the Length Increase Effect on the Composite Trapezoidal Labyrinth Spillway. *Journal of Water and Soil Science*, 23(1): 405-418.
2. Bahrebar A R., M. Heidarnejad, A R. Masjedi and A. Bordbar. 2021. Numerical and experimental study of the combination of labyrinth weir with orifice and its effect on discharge coefficient. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (2):91-105.
3. Copeland, R. and B. Fletcher. 2000. Model study of Prado Spillway, California, hydraulic model investigation. *Army Corps of Engineers*, Research and Development Center. U.S.
4. Crookstone, B. M. and B. P. Tullis. 2013. Hydraulic Design and Analysis of Labyrinth Weirs. I: Discharge Relationships. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 139: 363-370.
5. Darvas, L. A. 1971. "Discussion of 'Performance and design of labyrinth weirs,' by Hay and Taylor", American Society of Civil Engineering. *Journal of Hydraulic Engineering*, 97(80), 1246-1251.
6. Fuladipناه, M., M. Majedi ASL and R. Jafarinia. 2020. Application and Assessment of SVM Algorithm to Simulate the Geometry of Scour Hole Downstream of a Siphon Spillway. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 14(3): 1032-1045.
7. Gentilini, B. 1940. Stramazzi con cresta a planta obliqua e a zig-zag. *Memorie Studi dell Istituto di Idraulica e Costruzioni Idrauliche Del Regil Politecnico di Milano*, 48 (5): 150-162 (in Italian).
8. Hay, N. and G. Taylor. 1970. Performance and design of labyrinth weirs. *Journal of the Hydraulics Division*, 96(11): 2337-2357.
9. Henderson, F. M. 1966. open channel flow. Macmillan. Publishing Co., Inc. 866 Third Avenue, New York.
10. Jafari nadoshan, e. 2010. Investing on Discharge Coefficient of Labyrinth spillway Using CFD Method and Optimization of its Geometry Applying ANFIS and Genetic Algorithms. Master Thesis, University of Sistan and Baluchestan, I.R. Iran.
11. Khode, B. V., A. R. Tembhurkar, P. D. Porey, R. N. Ingle. 2012. Experimental Studies on Flow over Labyrinth Weir, American Society of Civil Engineering. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 138(6): 548-552.
12. Majedi Asl, M. and M. Fuladipناه. 2019a. Application of the Evolutionary Methods in Determining the Discharge Coefficient of Triangular Labyrinth Weirs. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 22(4), 279-290 (In Farsi).
13. Majdi Asl, M. and M. Fouladipناه. 2017. The use of evolutionary systems in determining the discharge coefficient of triangular concourse overflows. *Journal of Water and Soil Sciences. Journal of Agricultural Sciences and Techniques and Natural Resources*, 1(14): 279-290.
14. Majedi Asl, M., M. Foladipناه, V. Arun and R. P. Tripathi. 2021. Using data mining methods to improve discharge coefficient prediction in Piano Key and Labyrinth weirs. *Water Supply*, 22(2):1964-1982.

15. Majedi Asl, M. and S. Valizadeh. 2019b. Application of SVM Algorithm in Predicting Vertical Pier Scour Depth. *Journal of Water and Soil Science*, 23 (4): 165-181.
16. Meshkavati toroujeni, J., A. deghani, A. Emadi and M. Masoudian. 2021. Experimental Study of Discharge Coefficient at the Dentate Trapezoidal Labyrinth Weir. *Journal of Water and Soil Science*, 25 (3) : 209-224.
17. Monjezi, R., M. Heidarnejad, A. R. Masjedi, M. H. Pourmohammadi and A. Kamanbedast. 2019. An Experimental Investigation into the Effect of Curve Radius on the Discharge Coefficient in Curved-Linear and Curved-Labyrinth Weirs with a Triangular Plan. *Journal of Water and Soil Science*, 23 (2): 87-101.
18. Omidpour Alavian, T. and M. Majedi-Asl, F. Sohrabi, V. Shamsi and M. Ayami. 2022. Modeling and evaluation of the discharge coefficient of an arched Labyrinth with the Qnet met model method, the first modern national conference in civil and environmental engineering. Ramsar, Iran.
19. Omidpour Alavian, T., M. Majedi-Asl, M. Soltani, E. Mohammadi and V. Shamsi. Comparison of the hydraulic efficiency of Labyrinth Weirs with quarter-circle and semi-circular crown shape using met model method (ANN), 8th. International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development / 07-09 March. 2023, Tehran, Iran.
20. Roushangar, K., M. Alami, J. Shiri, M. Majedi Asl. 2018. Evaluation Effect of Changing the Cycle Arc Angle on Discharge Coefficient of Arced Labyrinth and Arced Piano Key Weirs. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 49(2): 341-351. (In Farsi).
21. Seamons, T. R., 2014. LabyrinthWeir: A look into Geometric Variation and Its Effect on Efficiency and Design Method Pridictions. Master thesis, Utah State University, Logan, UT.
22. Taylor, G. 1968. The performance of labyrinth weirs. Ph.D. thesis, University of Nottingham, Nottingham, England.
23. Tullis, B.vP., N. Amanian and N. Waldron. 1995. Approach to Improve the Discharging Capacity of Design of Labyrinth Spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*. 121 (3):247-255.
24. Willmore, C. 2004. Hydraulic characteristics of labyrinth weirs. Utah State University, Logan, Utah.



## Laboratory Investigation of the Effect of Wall Slope on the Discharge Coefficient of Trapezoidal Arced Labyrinth Weirs

M. Majedi-Asl<sup>1\*</sup>, T. Omidpour Alavian<sup>1</sup> and M. Kouhdaragh<sup>2</sup>

(Received: August 26-2023 ; Accepted: November 5-2023)

### Abstract

Weirs of the labyrinth have some advantages including the high coefficient of the irrigation of weir and the low fluctuation of water when the flow passes over the crest of the weir. In this research, the flow rate coefficient has been investigated by changing the weir geometry in terms of wall slope, arc cycle angle, and nose length change in the upstream and downstream of each cycle of the trapezoidal arc labyrinth weir. A total of 240 tests have been performed on 16 different physical models in a channel with a width of 120 cm and a narrowing of 20 cm from each wall. All models have been compared with the control model (normal labyrinth weir) (80A). The results showed that the 80B weir with an arc cycle angle of 20 degrees and without wall slope has a better performance than other weirs. Also, the weir with an arc cycle angle and a wall slope of 20 degrees in a divergent form (D20B) in the area  $(H_i/P) < 0.31$  has a better performance than other weirs with an arc cycle angle of 20 degrees, and after this area, the weir with a wall slope of 10 degrees has performed better in divergent form (D10B). In weirs with different cycles at an arc cycle angle of 20 degrees, the labyrinth weir with 5 cycles (N5) has performed better up to the point  $(H_i/P)=0.36$ . Also, at the maximum point, the difference is 13 and 17%, respectively, compared to the 4-cycle and 3-cycle weirs.

**Keywords:** Hydraulic parameters, Labyrinth weirs, Wall slope, Flow coefficient

---

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Maragheh University, East Azarbaijan, Iran.

2. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Malekan Islamic Azad University, East Azarbaijan, Iran.

\*: Corresponding author, Email: majedi@maragheh.ac.ir