

## تحلیل ضریب دبی سرریزهای جانبی استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای در جریان‌های زیر بحرانی

تورج هنر<sup>۱\*</sup> و صادق مظلوم شهرکی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۴)

### چکیده

سرریزهای استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای در سیستم‌های توزیع و انتقال آب، اندازه‌گیری جریان و کنترل سطح آب در کانال‌های روباز مورد استفاده قرار می‌گیرند. با بررسی تحقیقات انجام گرفته پیرامون سرریزهای جانبی مشخص شد که تاکنون از این‌گونه از سرریزهای به‌صورت جانبی استفاده نشده است لذا به‌دلیل راندمان مناسب آبیگری یا اقتصادی بودن آنها و نیز سهولت ساخت این سرریزها، مطالعه خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای نظیر ضریب دبی و عمق جریان روی تاج سرریز در آزمایشگاه هیدرولیک بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این آزمایشات نشان می‌دهد که به‌دلیل عدم جداشدگی جریان از بدنه سرریز، ضریب دبی جریان در سرریزهای جانبی استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای نسبت به سایر سرریزهای از جمله لبه پهن افزایش می‌یابد که این افزایش تا ۵۷ درصد هم مشاهده گردید و مشخص شد که با افزایش بار آبی در بالا دست سرریز ضریب دبی افزایش می‌یابد. لذا نتیجه‌گیری می‌شود که اجرای سرریزهای استوانه‌ای و یا نیم‌استوانه‌ای به‌صورت سرریز جانبی در مقایسه با سایر سرریزهای جانبی لبه پهن، ضمن کاهش در طول سرریز، افزایش راندمان هیدرولیکی و کاهش هزینه‌های اجرایی را به‌دنبال دارد.

واژه‌های کلیدی: ضریب سرریز جانبی، سرریزهای استوانه‌ای، سرریزهای نیمه استوانه‌ای، جریان متغیر مکانی

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز  
\* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: toorajhonar@yahoo.com

## مقدمه

سرریز جانبی در واقع یک سازه کنترل هیدرولیکی است که برای انحراف آب از کانال اصلی به کانال جانبی در زمانی که سطح آب در کانال اصلی از حد مشخصی بالاتر رود، مورد استفاده قرار می‌گیرد. سرریزها در حالت کلی به منظور کنترل رقوم سطح آب در بالادست و یا اندازه‌گیری دقیق جریان، نصب و مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اکثر حالات، سرریزها به صورت عرضی و مورب در کانال نصب می‌گردند تا جریان آب به طور مستقیم از روی تاج آن عبور نماید. جریان بر روی سرریزهای جانبی، از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی می‌باشد. در این نوع جریان، مقدار دبی در طول کانال اصلی کاهش پیدا نموده و با توجه به نوع جریان در بالادست (فوق بحرانی یا زیر بحرانی) پروفیل سطح آب روی سرریز و هم‌چنین مقطع کنترل به شکل‌های متفاوتی ایجاد می‌گردد.

سابقه کاربرد سرریزهای استوانه‌ای به اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ پیش از ابداع سرریزهای اوجی باز می‌گردد. با ساخت و توسعه سرریزهای اوجی در اوائل قرن بیستم، استفاده از سرریزهای استوانه‌ای در سرریز سدها محدود گردید. با گذشت زمان با ساخت سرریزهای قابل انعطاف مانند سدهای لاستیکی این سرریزها بار دیگر مورد توجه قرار گرفت. تاکنون مطالعات اندکی بر روی سرریزهای جانبی استوانه‌ای صورت گرفته و تاکید بیشتر بر روی سرریزهای استوانه‌ای در مسیر اصلی کانال انجام پذیرفته است که از این جمله می‌توان به مطالعات رفو و ایندل کوفر اشاره نمود که نشان دادند که ایجاد خلأ و مکش در جریان روی سرریز از جداسدگی جریان جلوگیری کرده و افزایش ضریب دبی جریان به میزان بیش از ۱۵ الی ۲۰ درصد را در پی دارد (۱۰). هم‌چنین باس در بررسی جریان در سرریزهای استوانه‌ای اختلاف اساسی بین میزان جریان عبوری از سرریزهای استوانه‌ای و لبه پهن را ناشی از انحنای خطوط جریان بر روی آستانه آنها دانست و معادله‌ای تجربی برای توزیع فشار جریان بر روی تاج ارائه داد و اظهار داشت که عمق جریان روی تاج سرریز استوانه‌ای حدود ۰/۷ عمق آب روی

سرریز در بالا دست می‌باشد (۵). چانسون و مونتنس نیز در سال ۱۹۹۸ با ساخت یک مدل آزمایشگاهی به بررسی میزان جریان عبوری از روی سرریز پرداختند. مدل آنان شامل یک پایه مکعب مستطیل بود که بر روی آن یک استوانه دایره‌ای قرار داشت. هم‌چنین مطالعاتی روی تأثیر وضعیت جریان بالادست بر خصوصیات هیدرولیکی این سرریزها انجام دادند. نتایج آزمایشات آنان نشان داد که با افزایش بار کل در بالادست ضریب دبی افزایش می‌یابد (۶). رحیمی و هنر نیز تأثیر پارامترهای هندسی بر خصوصیات هیدرولیکی در سرریزهای استوانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایشات آنان نشان داد که با افزایش بار آبی پشت سرریز ضریب دبی همه سرریزها افزایش می‌یابد. از سوی دیگر با افزایش محیط سرریز، ضریب دبی با شیب بسیار کمی افزایش می‌یابد ولی تأثیری بر روی انرژی ندارد. هم‌چنین تغییر ارتفاع سرریزها، بر عمق آب روی تاج، ضریب دبی و تغییرات افت انرژی، بدون تأثیر می‌باشد (۳). ایزدی نیا و همکاران الگوی جریان روی سرریزهای تاج دایره را مورد مطالعه قرار دادند. از بررسی نیمرخ‌های طولی و عرضی سطح آب در محل سرریز مشخص گردید که نیمرخ سطح آب در مجاورت سرریز دارای تغییرات شدیدی بوده که علت آن وجود ناحیه جدایی جریان در روی سرریز می‌باشد آنان با استفاده از اندازه‌گیری ناحیه جدایی جریان، تحلیل اماری و ایجاد رگرسیون خطی رابطه‌ای را برای محاسبه طول ناحیه جدایی جریان ارائه نمودند (۲). اسماعیلی و همکاران با مدلسازی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در سرریزهای استوانه‌ای، تغییرات فشار و سرعت در سرریزهای استوانه‌ای را بررسی نمودند، نتایج تحقیق آنان نشان می‌دهد که اولاً محل تشکیل جریان بحرانی قبل از تاج سرریز است و ثانیاً جدایش جریان از روی سرریز در ناحیه انتهایی آن صورت می‌گیرد. لذا کاهش جداسدگی لایه از سطح این‌گونه از سرریزها موجب می‌گردد که ضریب دبی جریان (Cd) به میزان ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش یابد (۱).

از سوی دیگر تاکنون مطالعات گسترده‌ای بر روی اشکال

جهت افزایش راندمان آبیگری و کاهش هزینه‌های اجرایی، این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز انجام پذیرفت.

### مواد و روش‌ها

عملیات آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز در یک کانال مستطیلی سیمانی انجام گردید. کانال اصلی به طول ۱۷ متر با عرض ۰/۵ متر با شیب ۰/۰۰۳ و محل کارگذاری سرریز جانبی در وسط کانال اصلی در نظر گرفته شد. به موازات کانال اصلی یک کانال فرعی به طول ۸ متر با عرض ۰/۴ متر آب تخلیه شده توسط سرریز جانبی را به حوضچه انتهایی منتقل می‌نماید. آب کانال اصلی از طریق پمپاژ از حوضچه خارج از آزمایشگاه تأمین می‌گردد و حداکثر دبی پمپاژ ۴۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد که توسط دو سرریز مثلثی شکل ۹۰ درجه کالیبره شده در حوضچه انتهایی، دبی کانال اصلی و فرعی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در طی انجام آزمایشها، عمق و سرعت آب در طول سرریز در داخل کانال اصلی و هم‌چنین روی سرریز جانبی اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری عمق آب توسط عمق سنج نقطه ای با دقت ۰/۱ میلی متر و اندازه‌گیری سرعت آب توسط دستگاه سرعت سنج الکترو مغناطیس بر روی تاج سرریز صورت گرفت. محدوده متغیرهای استفاده شده در آزمایشات برابر جدول ۱ می‌باشد. نمای پلان و مقطع سرریز جانبی نیز در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

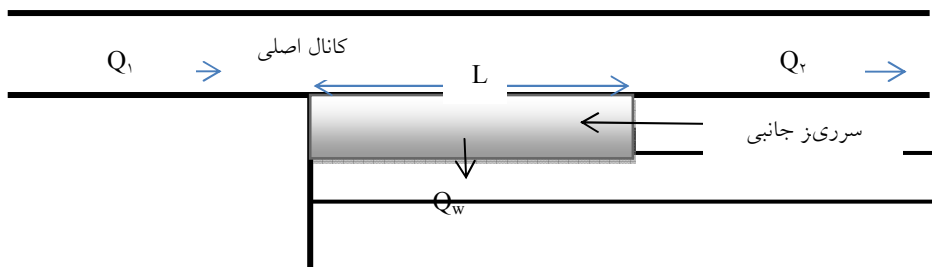
جریان عبوری از روی سرریزهای جانبی حالتی از جریان‌های متغیر مکانی با کاهش دبی می‌باشد که کاهش جریان باعث تغییرات قابل ملاحظه و مشخص آبی در جریان نگردیده و افت انرژی ناچیز فرض می‌شود لذا جهت تحلیل جریان از معادله پیوستگی (۱) و هم‌چنین معادله مومتم (۲) می‌توان استفاده نمود.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad [1]$$

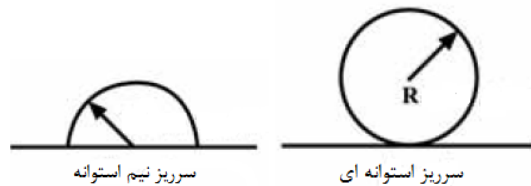
مختلف سرریزهای جانبی در مقاطع مختلفی از کانال‌ها صورت پذیرفته است. اکثر محققین شروع تحقیقات کلاسیک را به دیمارچی نسبت می‌دهند، ایشان با فرض ثابت بودن انرژی، معادله حاکم بر جریان را به دست آورد و برای محاسبه دبی خروجی از سرریز جانبی ضریب شدت جریان را که به نام ضریب دیمارچی نیز شناخته شده است معرفی نمود (۷). این تحقیقات در طی زمان توسط افراد دیگر ادامه یافت که از این جمله می‌توان به مطالعات امیر اقلو و همکاران اشاره نمود که با استفاده از روش شبکه عصبی، ضریب ظرفیت تخلیه سرریزهای جانبی مثلثی را مورد بررسی قرار دادند. هم‌چنین با تجزیه و تحلیل آماری رابطه‌ای را برای تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی مثلثی پیشنهاد نموده‌اند (۸). آقاییاری و همکاران نیز با مطالعه آزمایشگاهی، ضریب تخلیه مکانی دبی به صورت المانی در سرریزهای جانبی لبه پهن مستطیلی، تأثیر ارتفاع و پهنای تاج سرریز جانبی بر تغییرات ضریب دبی را در جریان‌های زیربحرانی مطالعه کردند (۴). هنر و کشاورزی نیز در سال ۲۰۰۹ اثر گرد شدگی لبه ورودی بر ضریب دبی سرریزهای جانبی در کانال‌های مستطیلی را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که دبی عبوری از روی سرریز نسبت به حالت ورودی به شکل ساده افزایش می‌یابد. نتایج تحقیق آنان نشان داد که با گرد کردن لبه ورودی سرریزهای جانبی از میزان جریان‌های چرخشی مؤثر که باعث کاهش راندمان آبیگری می‌شود کاسته شده و جداسدگی جریان نیز در این منطقه کاهش می‌یابد (۹). جمع‌بندی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که اکثر محققین هر کدام به گونه‌ای تلاش در افزایش راندمان آبیگری در سرریزهای جانبی را داشته‌اند در همین سو نیز این تحقیق در ادامه این‌گونه از مطالعات به بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای جانبی استوانه‌ای پرداخته است. جمع‌بندی مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که تا کنون مطالعاتی در زمینه سرریزها استوانه‌ای و نیم استوانه‌ای به‌عنوان سرریز جانبی صورت پذیرفته است لذا با توجه به اهمیت موضوع از نقطه نظر مسایل اقتصادی، طراحی آسان، کنترل سطح آب در کانال‌ها و تحقق در

جدول ۱. محدوده متغیرهای استفاده شده در آزمایشات

متغیر	محدوده متغیر	تعداد آزمایش ها
طول سرریز	۱ متر	ثابت
ارتفاع سرریز	۱۶۰-۶۳ میلی متر	۴
دبی ورودی	۱۶-۳۶ لیتر بر ثانیه	۴
عدد فرود بالادست	۰/۷۶-۰/۱	۴



شکل ۱. پلان سرریز جانبی



شکل ۲. مقطع عرضی سرریزهای جانبی

جانبی ( $V_2$ )، عمق آب در ابتدای سرریز جانبی در کانال اصلی ( $y_1$ )، عمق آب در در انتهای سرریز جانبی در کانال اصلی ( $y_2$ )، دبی ورودی به کانال اصلی ( $Q_1$ )، دبی خروجی از کانال اصلی ( $Q_b$ )، دبی عبوری از سرریز جانبی ( $Q_w$ ) و شتاب ثقل ( $g$ )

- ب خصوصیات مربوط به ژئومتری شامل طول سرریز جانبی ( $L$ )، ارتفاع سرریز جانبی ( $p$ )، پهنای تاج سرریز ( $w$ )، قطر سرریز ( $D$ )، شعاع سرریز ( $R$ )، عرض کف کانال اصلی ( $b$ )، ضریب زبری مانینگ ( $n$ )، شیب کف کانال ( $S_0$ )، فاصله از ابتدای سرریز ( $x$ )

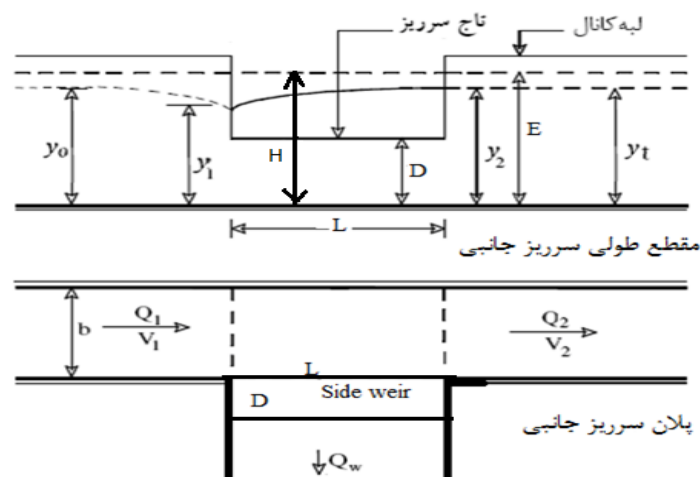
- ج خصوصیات مربوط به سیال که عبارتند از لزجت دینامیکی ( $\mu$ )، کشش سطحی ( $\sigma$ ) و جرم حجمی سیال ( $\rho$ )

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{Q^2}{A} \right) = gA(S_0 - S_f) - gA \frac{\partial h}{\partial x} + qV_t \cos \phi$$

[۲]

شناخت پارامترهای بی بعد درک ما را از پدیده‌های جریان سیال عمیق تر می نماید. محاسبات آنالیز ابعادی و ارائه متغیرهای بی بعد این امکان را فراهم می سازد که با دقت بیشتر عوامل مؤثر بر رفتار و روابط حاکم بر سرریزهای جانبی بررسی گردد. پارامترهای زیادی بر ضریب دبی سرریزهای جانبی تاثیر می گذارند. این پارامترها را مطابق با شکل ۳ می توان در قالب سه گروه کلی به صورت زیر بیان کرد.

- الف خصوصیات مربوط به جریان شامل سرعت جریان در ابتدای سرریز جانبی ( $V_1$ )، سرعت در انتهای سرریز



شکل ۳. مقطع طولی و پلان سرریز جانبی

$$C_d = f_r \left( Fr_1, Q^*, Q_r, \frac{H_1}{D}, \frac{y_1}{D}, \frac{y_2}{D}, \frac{x}{D} \right) \quad [12]$$

در این رابطه  $Fr_1$ : عدد فرود جریان در ابتدای سرریز جانبی،  $Q^*$ : پارامتر جریان،  $Q_r$ : نسبت آگیری،  $H_1$ : انرژی کل بالادست سرریز،  $y_1$  و  $y_2$ : به ترتیب عمق آب روی سرریز در ابتدا و انتهای سرریز در محور مرکزی کانال و  $x$ : فاصله از ابتدای سرریز می‌باشد.

### نتایج و بحث

در این تحقیق آزمایش‌ها در سه سری به صورت آزمایش حالت استوانه‌ای، حالت نیم‌استوانه‌ای و حالت لبه پهن جهت مقایسه به طور مجزا انجام گرفت. در هر کدام از این سری آزمایش‌ها شرایط مختلف پایین دست (باز یا نیمه باز بودن دریاچه انتهایی کانال اصلی) نیز در نظر گرفته شد. ترتیب اجرای آزمایش‌ها به این شکل است که ابتدا یک ترکیب از سرریز جانبی از لحاظ ارتفاع و پهنا ایجاد گردید، سپس با توجه به دبی ثابتی که از کانال اصلی عبور می‌کند، عملیات داده برداری انجام گرفت و بعد از اتمام عملیات داده برداری بدون تغییر در دبی کانال اصلی، شرایط پایین دست را با باز و بسته کردن دریاچه انتهایی کانال، تغییر داده و آزمایشات مربوط به این حالت از شرایط پایین دست نیز تکرار گردید. فاصله سرریز تا دریاچه انتهایی

با انتخاب متغیرهای  $D$  و  $\rho$  و  $g$  به عنوان متغیرهای تکراری در روش باکینگهام تعداد ۸ پارامتر بی بعد طبق روابط (۳) تا (۱۰) به دست می‌آید.

$$\pi_1 = \frac{Q_w}{\sqrt{gD^5}} \quad [3]$$

$$\pi_2 = \frac{Q_1}{\sqrt{gD^5}} \quad [4]$$

$$\pi_3 = \frac{y_1}{D} \quad [5]$$

$$\pi_4 = \frac{1}{D} \quad [6]$$

$$\pi_5 = \frac{v_1}{\sqrt{gD}} \quad [7]$$

$$\pi_6 = \frac{x}{D} \quad [8]$$

$$\pi_7 = \frac{w}{D} \quad [9]$$

$$\pi_8 = \frac{y_2}{D} \quad [10]$$

در نهایت با ترکیب  $\pi_1$  و  $\pi_2$  معادله بی بعد جدید زیر را به دست می‌آوریم.

$$\pi = \frac{\pi_1}{\pi_2} \Rightarrow \pi = \frac{Q_w}{Q_b} \quad [11]$$

با تعریف  $\pi$  به نام نسبت آگیری ( $Q_r$ ) و  $\pi_2$  به نام پارامتر جریان ( $Q^*$ )، رابطه بی بعد تحقیق به صورت رابطه (۱۲) استخراج می‌شود.

مقدار ضریب دبی در سرریزهای جانبی استوانه‌ای با افزایش بار کل نسبی بالادست سرریز جانبی افزایش می‌یابد ولی این افزایش با شیب خیلی کم صورت می‌گیرد. البته در محدوده آزمایش‌های انجام شده، نتایج نشان می‌دهد که مقدار ضریب دبی در یک  $\left(\frac{H}{D}\right)$  مشخص و بزرگ‌تر از  $0/6$  برابر  $0/968$  و مستقل از اندازه قطر استوانه می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده ضریب دبی برای سرریزهای استوانه‌ای از  $0/825$  تا  $0/968$  افزایش می‌یابد و رابطه برازش داده شده بین نقاط به‌صورت رابطه (۱۶) می‌باشد. چانسون و مونتس نیز رابطه‌ای مشابه با ضریب  $0/185$  و توان  $0/136$  به‌دست آوردند (۶).

$$C_d = 1/0.557 \left(\frac{H}{D}\right)^{0.1448} \quad [16]$$

هم‌چنین در این تحقیق بررسی روند تغییرات ضریب دبی با بار کل نسبی بالادست برای سرریزهای جانبی نیم استوانه مطابق با شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش عمق آب بالادست سرریز، مقدار ضریب دبی افزایش می‌یابد که این افزایش در مقادیر کم انرژی بالادست با شیب بیشتر و در مقادیر بالای انرژی بالادست بزرگ‌تر از  $0/85$  به مقدار ثابت  $0/92$  رسیده و مستقل از قطر و انرژی آب بالادست می‌گردد. ضریب دبی در این سرریزها از  $0/707$  تا  $0/92$  افزایش یافته و رابطه برازش داده شده بین نقاط ضریب دبی سرریزهای نیم استوانه‌ای به‌شکل رابطه (۱۷) می‌باشد.

$$C_d = 0/9463 \left(\frac{H}{D}\right)^{0.1185} \quad [17]$$

نهایتاً بررسی نتایج نشان می‌دهد که تفاوت قابل ملاحظه بین روند تغییرات ضریب دبی جریان با بار کل بالادست در سرریزهای استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای وجود ندارد. البته در هر دو گروه از سرریزهای مورد آزمایش با افزایش بار کل نسبی بالادست سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد و به تدریج شیب منحنی‌ها با افزایش بار کل بالادست کاهش می‌یابد. شیب خط

حدود  $10$  متر بوده و برگشت آب تاثیری بر روی سرریز جانبی ندارد. بعد از اتمام آزمایش‌های این مرحله، دبی کانال اصلی تغییر داده شد و دوباره آزمایشات قبلی برای دبی جدید تکرار گردید. نهایتاً با توجه به ارتفاع سرریزها، قطر سرریزها، شکل سرریزها، میزان دبی کانال اصلی، شرایط پایین دست جریان در کانال اصلی، به‌طور کلی نزدیک به  $180$  آزمایش انجام گرفت. پس از طبقه‌بندی داده‌های جمع‌آوری شده و حذف داده‌های غیرقابل قبول متشکل از داده‌هایی که در آن عمق جریان کمتر از  $3$  سانتی‌متر بود و یا جریان در کانال اصلی فوق بحرانی می‌گردید، محاسبات و تحلیل‌ها به‌طور مجزا برای هر آزمایش شامل سرریزهای جانبی استوانه‌ای، نیم‌استوانه‌ای و لبه پهن انجام پذیرفت و در هر گروه، ضریب دبی تعیین گردید که به‌نتایج آن اشاره خواهد شد. در این تحقیق ضریب دبی به‌کمک رابطه (۱۳) محاسبه می‌شود (۴).

$$C_d = \frac{Q_w}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} (H)^{3/2} l} \quad [13]$$

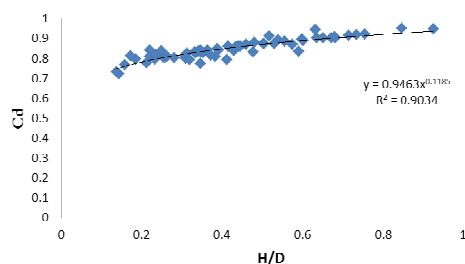
در این رابطه  $C_d$ : ضریب دبی محاسبه شده در حالت کلی،  $H$ : میانگین عمق آب بالای سرریز در وسط کانال اصلی به‌روش دوزنقه،  $l$ : طول سرریز جانبی و  $Q_l$ : دبی عبوری از سرریز جانبی می‌باشد.

نتایج تجزیه و تحلیل آماری بر روی  $128$  داده با استفاده از نرم‌افزار spss انجام گردید و روابط (۱۴) و (۱۵) به‌ترتیب برای محاسبه ضریب دبی المانی سرریزهای استوانه‌ای و سرریزهای نیم استوانه‌ای به‌دست می‌آید.

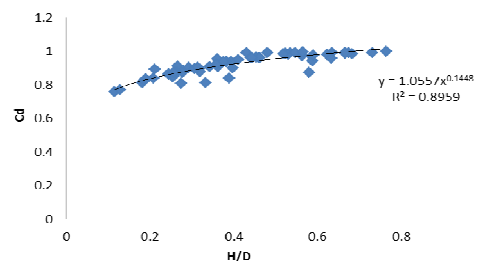
$$C_d = 1/129 + 0.139 \left(\frac{y_1}{D}\right) - 0.377 \left(\frac{y_1}{L}\right) - 0.0008 \left(\frac{D}{y_2}\right) - 0.241 Fr_1 \quad [15]$$

$$C_d = 1/0.419 + 0.079 \left(\frac{y_1}{R}\right) - 0.357 \left(\frac{y_1}{L}\right) - 0.0015 \left(\frac{R}{y_2}\right) - 0.2464 Fr \quad [14]$$

شکل ۴ تغییرات ضریب دبی با بار کل را برای سرریزهای جانبی استوانه‌ای نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است



شکل ۵. تغییرات ضریب دبی سرریزهای جانبی نیم‌استوانه‌ای با انرژی بالادست



شکل ۴. تغییرات ضریب دبی سرریزهای جانبی استوانه‌ای با انرژی بالادست

نتایج نشان می‌دهد که با کاهش قطر سرریز، عمق آب بالادست سرریز افزایش و میزان افت انرژی کاهش می‌یابد.

با بررسی نمودار ۷ در سرریزهای نیم‌استوانه‌ای همانند سرریزهای استوانه‌ای با افزایش عمق آب در بالادست سرریز، افت انرژی در سرریزها کاهش می‌یابد. ولی رابطه مشخصی بین قطر سرریز و افت انرژی در سرریزهای نیم‌استوانه‌ای دیده نمی‌شود. در این شرایط بیشترین افت ایجاد شده در سرریز با قطر ۱۶۰ میلی‌متر به میزان ۰/۹۳ و کمترین افت به مقدار ۰/۱۹ در سرریز با قطر ۶۳ میلی‌متر مشاهده گردید.

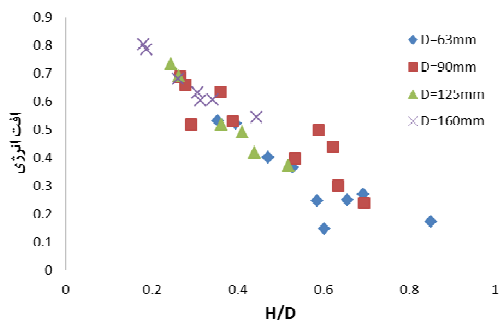
مقایسه تغییرات افت انرژی با بار کل نسبی بالادست را برای سرریزهای نیم‌استوانه‌ای و استوانه‌ای نشان می‌دهد که افت نسبی انرژی در سرریزهای استوانه‌ای کمتر از افت نسبی انرژی در سرریزهای نیم‌استوانه‌ای می‌باشد. عدم جدایی جریان از روی بدنه سرریزهای استوانه‌ای سبب کاهش عمق جریان روی تاج در سرریزهای استوانه‌ای شده، لذا افت انرژی ایجاد شده کمتر خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر شکل تاج سرریز از لبه پهن به سمت نیم‌استوانه و استوانه، درصد جریان عبوری از سرریز افزایش می‌یابد. بررسی نتایج به دست آمده می‌توان دریافت که در شرایط جریان زیر بحرانی، جریان عبوری از سرریز جانبی استوانه‌ای به طور میانگین ۴۳ درصد و جریان عبوری از سرریز جانبی نیم‌استوانه‌ای به طور میانگین ۲۹ درصد بیشتر از سرریز جانبی لبه پهن مستطیلی هم ارتفاع می‌باشد.

برازش داده شده در سرریزهای جانبی استوانه‌ای کمتر از شیب خط برازش داده شده بین داده‌های سرریز جانبی نیم‌استوانه‌ای می‌باشد که این نتیجه نشان می‌دهد که دامنه تغییرات ضریب دبی در سرریزهای جانبی استوانه‌ای کمتر از دامنه تغییرات سرریز جانبی نیم‌استوانه‌ای است به طوری که در مقادیر خیلی کم عمق آب بالادست می‌توان ضریب دبی مناسبی را از سرریزهای استوانه‌ای به دست آورد. در این تحقیق افت انرژی در سرریزهای جانبی استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای از رابطه (۱۸) محاسبه گردید.

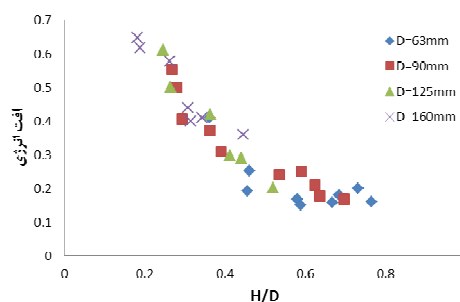
$$\frac{E_1 - E_2}{E_1} = \frac{(D + H_1) - \left( y_d + \frac{q^2}{2gy_d^3} \right)}{D + H_1} \quad [18]$$

در این رابطه  $E_1$ : انرژی بالادست سرریز،  $E_2$ : انرژی پایین دست سرریز،  $H_1$ : عمق آب بالادست سرریز،  $y_d$ : عمق جریان در پایین دست سرریز و  $q$ : دبی عبوری از سرریز می‌باشد.

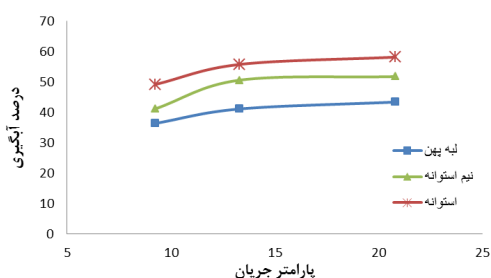
بررسی روند کلی تغییرات افت انرژی با بار کل نسبی در بالادست برای سرریزهای استوانه‌ای طبق نمودار ۶ نشان دهنده کاهش افت انرژی با افزایش عمق آب در بالادست سرریز می‌باشد به طوری که بیشترین افت انرژی به میزان ۰/۶۸ مربوط به سرریزهای با قطر ۱۶۰ میلی‌متر و کمترین افت انرژی به مقدار ۰/۱۸ در سرریزهای با قطر ۶۳ میلی‌متر می‌باشد. بررسی



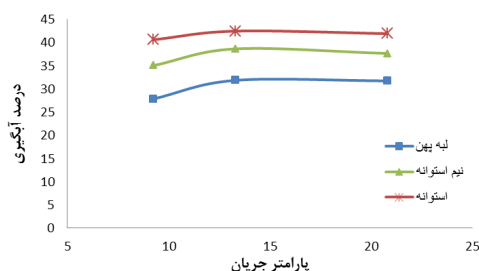
شکل ۷. تغییرات افت نسبی انرژی با بار کل نسبی بالادست در سرریزهای جانبی نیم‌استوانه‌ای



شکل ۸. تغییرات افت نسبی انرژی با بار کل نسبی بالادست در سرریز جانبی استوانه‌ای



شکل ۹. تغییرات میزان آبیگری سرریزهای جانبی با ارتفاع ۱۲۵ میلی‌متر با بازشدگی ۱۰ سانتی‌متر در درجه انتهایی



شکل ۱۰. تغییرات میزان آبیگری سرریزهای جانبی با ارتفاع ۱۲۵ میلی‌متر با باز شدگی ۵ سانتی‌متر در درجه انتهایی

نیم‌استوانه‌ای اقدام به ساخت مدل آزمایشگاهی و استفاده از سیستم سرریزهای جانبی گردید. این سیستم دارای پارامترهای طراحی زیادی می‌باشد که در این تحقیق برای تعیین ضریب دبی دو پارامتر قطر سرریز و نوع شکل تاج سرریز به‌عنوان متغیرهای مورد آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. نتایج و تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که ضریب دبی در سرریزهای جانبی استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای تابع عدد فرود جریان در ابتدای سرریز جانبی، قطر سرریز به عمق آب روی سرریز در انتهای سرریز، عمق آب روی سرریز در ابتدای سرریز به طول سرریز و عمق آب روی سرریز در ابتدای سرریز به قطر سرریز می‌باشد. بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای جانبی استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای نشان داد ضریب دبی این سرریزها با تغییرات انرژی کل بالادست سرریز و قطر سرریز رابطه مستقیم دارد و به دلیل انحنای بیشتر خطوط جریان

همان‌طور که در نمودارهای ۸ و ۹ مشاهده می‌شود با افزایش میزان جریان ورودی یا پارامتر جریان  $(\frac{Q_1}{\sqrt{gD^5}})$  به کانال اصلی، میزان آبیگری  $(\frac{WQ}{Q_1})$  سرریز جانبی افزایش پیدا می‌کند با افزایش دبی، عمق آب روی سرریز جانبی بیشتر شده و با توجه به رابطه مستقیم عمق روی آب با ضریب دبی سرریز، ضریب دبی سرریز افزایش خواهد یافت. هم‌چنین بررسی نمودارها مشخص می‌کند که در شرایط یکسان، میزان آبیگری سرریزهای استوانه‌ای بیشتر از سرریزهای نیم‌استوانه‌ای و نسبت آبیگری سرریزهای نیم‌استوانه‌ای بیشتر از سرریزهای لبه پهن می‌باشد.

## نتیجه‌گیری

به‌منظور تحلیل ضریب دبی سرریزهای جانبی استوانه‌ای و



سرریزهای جانبی استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای با سرریز لبه پهن هم ارتفاع در دبی های یکسان این نتیجه حاصل شد که به‌طور میانگین راندمان آبیگری سرریزهای جانبی استوانه‌ای، ۴۳ درصد و راندمان آبیگری سرریزهای نیم‌استوانه‌ای، ۲۹ درصد بیشتر از سرریز لبه پهن هم ارتفاع می‌باشد.

و افزایش مکش، ضریب دبی در سرریزهای جانبی استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای بیشتر از سرریزهای لبه پهن مستطیلی است که این افزایش تا ۶۰ درصد هم مشاهده گردید. عمق نسبی روی تاج سرریز به عمق بالادست در سرریزهای استوانه‌ای ۰/۸۹ و در سرریزهای نیم‌استوانه‌ای ۰/۹۲ می‌باشد. با مقایسه نسبت آبیگری

### منابع مورد استفاده

۱. اسماعیلی، ک.، ب. نقوی و ف. وحید. ۱۳۸۹. مدل سازی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در سرریز استوانه‌ای. نشریه آب و خاک مشهد. ۲۰(۱):۱۷۹-۱۶۶.
۲. ایزدی نیا، الهام، م. حیدرپور. و ع. ر. سامانی. ۱۳۸۷. بررسی پروفیل سطح آب روی سرریز جانبی تاج دایره‌ای. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۴۶(۱۲):۶۹-۵۶.
۳. رحیمی، ا. و ت. هنر. ۱۳۸۶. تأثیر پارامترهای هندسی بر خصوصیات هیدرولیکی در سرریزهای استوانه‌ای. سومین کنگره ملی مهندسی عمران.
4. Aghayari, F., T. Honar and A. R. Keshavarzi. 2008. A study of spatial variation of discharge coefficient in broad-crested in clined side weir. *Irrig. and Drain. J.* 58: 246-254.
5. Bos, M. G. Discharge Measurement Structures. 1978. Soil water retention as affected by tillage and residue management in semiarid Spain. *Soil and Tillage Res.* 87: 19-27.
6. Chanson, H. and J. S. Monthes. 1998. Over flow characteristics of circular weirs: Effects of inflow conditions. *J. Irrig. and Drain. Eng. ASCE*, 124:3. 152-161.
7. De marchi, G. 1934. Saggio di teotia de funzionamenta degli stramazzi laterali. *L'Energia electrician.* 11:849:870.
8. Emiroglu, E. M., O. Kisi. and O. Bilhan. 2010. Predicting discharge capacity of triangular labyrinth side weir located on a straight channel by using an adaptive neuro-fuzzy technique. *advance in engineering software.* 41:154-160.
9. Honar, T. and A. R. Keshavarzi. 2009. Effect of rounded edge entrance on discharge coefficient of side weir in rectangular channel. *J. Irrig. and Drain.* 58: 482-491.
10. Rouve, G. and H. Indlekofer. 1974. Abfluss über geradlinige Wehre mit halbkreisförmigern Überfallprofil Discharge over straight weirs with semicylindrical crest. *Der Bauingenieur.* 49: 250-256 .