

مطالعه آزمایشگاهی سرریزهای تناسبی خطی برای مجاری دایره‌ای

حمید کیان‌مهر^{۱*}، صلاح کوچک‌زاده^۲ و علیرضا وطن‌خواه^۳

چکیده

سرریزهای تناسبی که در آن‌ها بده با توان واحد بارآبی رابطه دارد به عنوان سرریزهای تناسبی خطی شناخته می‌شوند. این سرریزها به دلیل توان واحد بار آبی، دارای برتری نسبت به سرریزهای متداول دیگر برای برخی از کاربردها هستند. در این پژوهش براساس مبانی نظری، سرریزهای تناسبی خطی مختلف با مقاطع مثلثی معکوس، دودکشی و دو مثلثی معکوس طراحی شد. سپس، با ساخت این سرریزها و نصب آن‌ها در یک مجرای دایره‌ای، برقراری رابطه خطی بین بده و بار آبی به صورت آزمایشگاهی آزمون شد. یکصد و هشتاد آزمایش روی سرریزهای مورد مطالعه در محدوده‌ی بده ۱ تا ۸ لیتر بر ثانیه انجام شد. نتایج وجود رابطه خطی بین بده و بار آبی در هر یک از سرریزهای طراحی شده را تأیید کرد و نشان داد که برای سرریز مثلثی معکوس ۵۰٪ داده‌ها و برای سرریزهای دودکشی و دو مثلثی معکوس به ترتیب ۶۶٪ و ۷۳٪ داده‌ها دارای خطای نسبی بین ۱٪± از رابطه خطی برازشی هستند. همچنین مشخص شد که سرریز دو مثلثی معکوس انحراف کمتری از رابطه خطی نظری خود، نسبت به نتایج به دست آمده برای دو سرریز دیگر داشته و عملکرد مطلوب‌تری ارائه کرده است.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری بده، رابطه خطی، سرریز، سرریز تناسبی، مقطع دایره‌ای.

ارجاع: کیان‌مهر ح. کوچک‌زاده ص. و وطن‌خواه ع. ۱۳۹۳. مطالعه آزمایشگاهی سرریزهای تناسبی خطی برای مجاری دایره‌ای. مجله پژوهش آب ایران. ۸(۱۵): ۹۳-۱۰۱.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: hamid.kianmehr@ut.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۴/۲۱

مقدمه

سرریزها سازه‌های هیدرولیکی ساده، پرکاربرد و مؤثری هستند که برای اندازه‌گیری بده جریان و همچنین برای کنترل سطح آب در کانال‌ها استفاده می‌شوند. راحتی اندازه‌گیری بده و میزان درستی آن از عوامل مهم در انتخاب یک سرریز است. تنوع سرریزها بسیار زیاد است و به‌دلیل کاربرد بسیار وسیع آن‌ها، پژوهش‌های گسترده و جامعی برای شناخت رفتار هیدرولیکی و رابطه‌های حاکم بر آن‌ها انجام شده است. از میان انواع مختلف این سازه، سرریزهای تناسبی که بین بده و هد یا بارآبی آن‌ها رابطه خاصی وجود دارد به‌دلیل کاربرد در زمینه‌های مختلف مهندسی نظیر آبیاری و زهکشی، محیط‌زیست، هیدرولیک و شیمی مهم هستند (کشاوا مورتی و گریدهار، ۱۹۸۹). طراحی سرریز تناسبی براساس رابطه مورد نظر بین بده و بارآبی صورت می‌گیرد. به عبارت دیگر شکل مقطع سرریز براساس رابطه یاد شده مشخص می‌شود (باس، ۱۹۸۹). براساس رابطه بده و بار آبی، سرریزهای تناسبی به سه نوع یعنی سرریز تناسبی خطی، سرریز درجه دوم یا کوادراتیک و سرریز تناسبی لگاریتمی طبقه‌بندی می‌شوند (کشاوا مورتی و گوپالاکریشنا پیلای، ۱۹۷۸).

سرریزهای تناسبی خطی، نوع خاصی از این سرریزها هستند که رابطه بین بده و هد آن‌ها خطی است. به‌دلیل وجود چنین رابطه‌ای، این سرریزها کاربردهای خاصی دارند که می‌توان به اندازه‌گیری جریان در آزمایشگاه‌های هیدرولیک با خطای کمتر در تخمین بده، کنترل مواد شناور و نصب در خروجی حوضچه ترسیب برای حفظ سرعت جریان در اطراف سرعت متوسط برای ته‌نشینی رسوبات اشاره کرد (کشاوامورتی، ۱۹۷۸). با توجه به این که رابطه بین بده و هد در سرریز تناسبی به صورت خطی است در حوضچه ترسیب برابر با میزان نسبی تغییرات بده ورودی به حوضچه، تغییرات در عمق آب اعمال می‌شود. به عبارت دیگر تغییرات نسبی بده جریان در عمق آب اثر می‌گذارد و سرعت جریان را کمتر تحت تأثیر قرار می‌دهد، پس این امر با کاستن از نوسانات سرعت جریان نسبت به تغییرات بده ورودی باعث حفظ سرعت جریان در اطراف سرعت متوسط لازم برای ته‌نشینی رسوبات در حوضچه ترسیب می‌شود.

تعیین بده عبوری از روی سرریز با اندازه‌گیری رقوم آب بالادست سرریز انجام می‌شود و ورود خطا در این

اندازه‌گیری می‌تواند منجر به انحراف قابل توجه بین بده‌های واقعی و محاسبه شده شود. اما به‌دلیل خطی بودن رابطه بده-هد در سرریز تناسبی خطی، خطای در هد آن به صورت خطی در بده ظاهر می‌شود. در حالی که همان میزان خطا در سرریزهای دیگر، به‌دلیل وجود توان بیش از واحد بارآبی، به خطای بیشتری در بده منجر خواهد شد. به عنوان مثال ۱٪ خطا در قرائت بارآبی برای سرریزهای تناسبی خطی، مستطیلی و مثلثی باعث خطای بده به ترتیب ۱٪، ۱/۵٪ و ۲/۵٪ خواهد شد.

برآورد بده جریان در شبکه‌های انتقال آب و فاضلاب مهم است و از وسایل مختلفی از جمله انواع سرریز، دریچه و پارشال فلوم برای اندازه‌گیری آن استفاده می‌شود. از جمله سازه‌های انتقال آب می‌توان به کانال‌های دایره‌ای و لوله‌ها اشاره کرد. با توجه به خطای کمتر سرریزهای تناسبی خطی در برآورد بده نسبت به سایر سرریزها و اهمیت اندازه‌گیری جریان در مقاطع دایره‌ای لازم است تا کارایی و عملکرد هیدرولیکی این سرریزها در مقاطع دایره‌ای مشخص شود. بدین منظور در این پژوهش برای اولین بار رفتار و عملکرد هیدرولیکی این سرریزها در یک مقطع دایره‌ای بررسی و براساس نتایج آزمایشگاهی، مناسب‌ترین سرریزی که رابطه خطی بین بده و بارآبی ایجاد می‌کند معرفی شد.

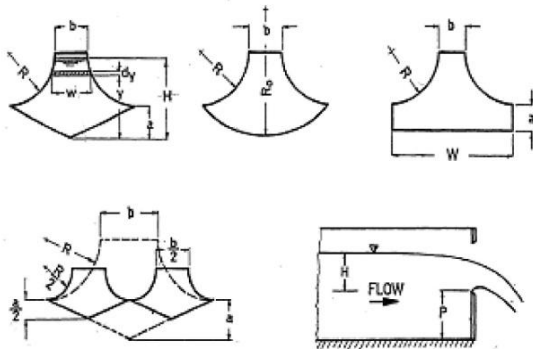
سابقه مطالعات

اساس طراحی سرریز تناسبی خطی، ایجاد رابطه خطی بین بده و هد است، یعنی حساسیت هیدرولیکی در این سرریز مطابق معادله ۱ برابر با واحد است.

$$S = \frac{dQ}{dh} \frac{h}{Q} = 1.0 \quad (1)$$

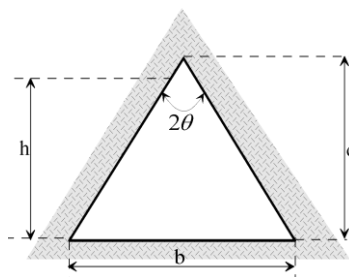
در معادله ۱، S حساسیت هیدرولیکی، dQ تغییرات بده، Q بده، و h و dh به‌ترتیب بار آبی روی سرریز و تغییرات آن است. ایده اولیه سرریز تناسبی برای اولین بار توسط استات (۱۸۹۷) ارائه شد. اما تلاش او برای به دست آوردن مقطعی که بتواند این خصوصیت را برآورد کند به‌دلیل ایجاد عرض بی‌نهایت در تاج سرریز ناتمام ماند (به نقل از کشاوا مورتی، ۱۹۷۸). برای حل این مشکل ساترو (۱۹۰۸) سرریز تناسبی را بر روی یک سرریز مستطیلی قرار داد که این پیشنهاد منجر به توسعه عملی و ساخت این سرریز شد که در شکل ۱ ارائه شده است (به نقل از باس، ۱۹۸۹).

ایشان ضمن گزارش رابطه خطی به بررسی ضریب بده در این سرریزها پرداختند.



شکل ۲- سرریزهای آزمون شده توسط رامامورتی و همکاران (۱۹۷۷)

کشاوا مورتی (۱۹۸۹) با هدف تسهیل در ساخت اما با حفظ انحراف از رابطه خطی در محدوده مجاز، سرریز دوزنقه‌ای معکوس را به صورت یک مثلث معکوس بر طبق شکل ۳ در نظر گرفت و ضمن به دست آوردن رابطه‌های تئوری آن (رابطه ۴) به بررسی عملکرد آزمایشگاهی آن پرداخت.

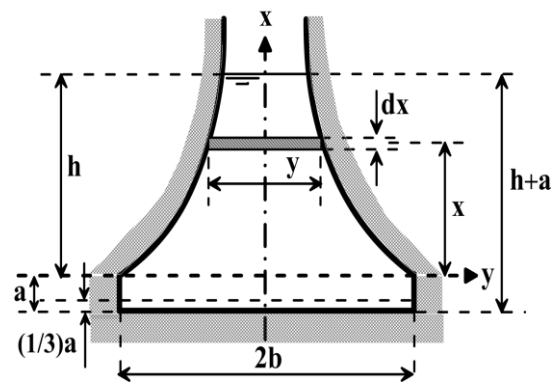


شکل ۳- سرریز مثلثی معکوس

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} b h^{3/2} - \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan \theta h^{5/2}; 0 \leq h \leq d \quad (4)$$

در رابطه (۴) Q بده بر حسب C_d (m^3/s) ضریب بده (بی بعد)، g شتاب گرانش بر حسب (m/s^2) ، b عرض کف مقطع مثلثی، h ارتفاع آب روی سرریز بر حسب (m) و θ زاویه رأس سرریز است.

رسم رابطه ۴ برای زوایای مختلف با ضریب بده ثابت و عرض واحد (شکل ۴) نشان می‌دهد که با وجود نبودن رابطه خطی بین بده و بار آبی در کل دامنه بهره‌برداری، اما در یک محدوده‌ی مشخص می‌توان با تقریب مناسبی رفتار خطی را پذیرفت. این شکل نیز نشان می‌دهد که با کاهش زاویه رأس سرریز، محدوده رفتار خطی سرریز افزایش یافته است.



شکل ۱- سرریز تناسبی خطی ساترو (گرفته شده از باس ۱۹۸۹، با ترسیم مجدد)

در این حالت رابطه بده به صورت زیر خواهد بود:

$$Q = c(h + \frac{2}{3}a) \quad ; c = C_d b \sqrt{2ga} \quad (2)$$

در معادله (۲) Q بده بر حسب C_d (m^3/s) ضریب بده (بدون بعد)، g شتاب گرانش بر حسب (m/s^2) ، a ارتفاع مقطع مستطیلی، b نصف طول بخش مستطیلی و h ارتفاع آب روی سرریز بالای قسمت مستطیلی بر حسب (m) است.

پرات (۱۹۱۴) رابطه طراحی قسمت منحنی سرریز تناسبی را به صورت زیر پیشنهاد کرد (به نقل از باس، ۱۹۸۹).

$$f(x) = b \left[1 - \frac{2}{\pi} \tan^{-1} \sqrt{\frac{x}{a}} \right] \quad (3)$$

که در آن $f(x)$ تابع عرض سرریز و x مختصات عمودی لبه سرریز است.

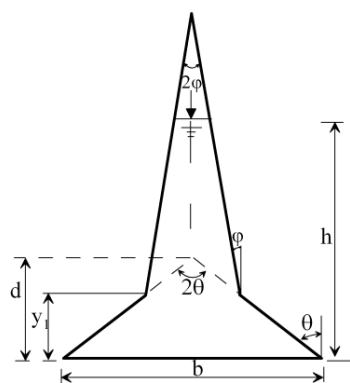
اگرچه این سرریزها به عنوان وسایل اندازه‌گیری جریان، دقیق و بسیار مفید هستند اما ساخت آن‌ها نیازمند تجهیزات خاص و نیروی کار ماهر است.

تروسکولنسکی (۱۹۶۰) به وجود رابطه خطی بین بده و هد برای دو مقطع سرریز که عبارتند از مقطع ربع دایره بر روی یک مقطع مستطیلی و مقطع دوزنقه‌ای بسته با زاویه رأس ۵۰ درجه، اشاره کرده است (به نقل از کشاوا مورتی، ۱۹۹۰).

ونکاترامن و سابرامانیا (۱۹۷۳) به بررسی آزمایشگاهی سرریز با مقطع ربع دایره بر روی یک مقطع مستطیلی پرداختند و وجود رابطه خطی بین بده و هد را در دامنه مشخصی از هد گزارش کردند. رامامورتی و همکاران (۱۹۷۷) از سرریز مقطع ربع دایره‌ای بر روی سه مقطع مستطیلی و مثلثی و دایره‌ای استفاده کردند (شکل ۲).

کشاوا مورتی و گایریدهار (۱۹۹۰) سه سرریز دودکشی مختلف را آزمایش کردند و نشان داده‌اند که رابطه خطی بین بده و هد سرریز مثلثی معکوس، برای سرریز دودکشی نیز معتبر است.

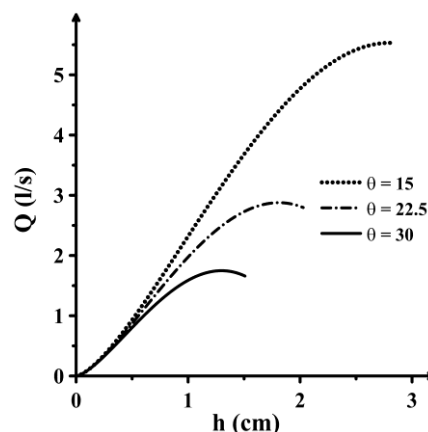
وطن‌خواه (۲۰۱۲) برای بهبود دامنه تغییرات خطی سرریز مثلثی معکوس، پیشنهاد کرد که اگر به جای مقطع مستطیلی در سرریز دودکشی از مقطع مثلثی استفاده شود (شکل ۶)، ضمن افزایش دامنه خطی سرریز دودکشی، میزان خطای انحراف از رابطه خطی کاهش می‌یابد. همچنین وی با بهینه‌سازی و بی‌بعدسازی رابطه‌های تئوری سرریزهای مثلثی معکوس، دودکشی و دو مثلثی معکوس (رابطه ۷) جدولی را برای تسهیل طراحی سرریزهای بالا ارائه کرد (جدول ۱). اما عملکرد میدانی یا آزمایشگاهی این سرریز هنوز آزمون نشده است.



$$0 \leq h \leq y_1 \Rightarrow Q = \frac{1}{3} k b h^{3/2} + \frac{4}{15} K Z_1 h^{5/2}$$

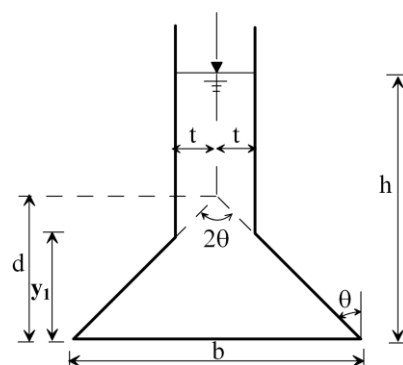
$$h > y_1 \Rightarrow Q = \frac{1}{3} k b \{h^{3/2} - (h - y_1)^{3/2}\} + \frac{2}{3} k \left\{ \left(\frac{b}{2} + Z_1 y_1 - Z_2 y_1 \right) (h - y_1)^{3/2} \right\} + \frac{2}{15} k Z_1 \{2h^{5/2} - (h - y_1)^{3/2} (2h + 3y_1)\} + \frac{2}{15} k Z_2 \{(h - y_1)^{3/2} (2h + 3y_1)\}$$

که در آن $k = 2C_d \sqrt{2g}$, $z_1 = -\tan\theta$, $z_2 = -\tan\phi$ و سایر پارامترها از قبل تعریف شده‌اند.



شکل ۴ - کردار به دست آمده از رابطه نظری ۴ برای سرریز مثلثی معکوس

کشاوا مورتی و گایریدهار (۱۹۹۰) برای بهبود دامنه تغییرات خطی سرریز مثلثی معکوس یک سرریز مستطیلی با عرض $b = 0.1325d$ (عرض تاج سرریز) و عمق $d = 0.735d$ (ارتفاع سرریز مثلثی معکوس) به سرریز مثلثی معکوس اضافه کردند، این تغییر باعث شد تا دامنه عملکرد خطی سرریز مثلثی معکوس به طور زیادی، یعنی تا بیش از دو برابر، افزایش یابد (شکل ۵). این سرریز که به سرریز دودکشی معروف است برای جریان‌های در محدوده‌ی عمق‌های بین $0.22d$ و $2/43d$ بالای تاج سرریز، دارای انحراف بده‌های تئوری از رابطه خطی به مقدار کمتر از ۱/۵٪ است.



شکل ۵ - سرریز دودکشی کشاوا مورتی و گایریدهار (۱۹۹۰)

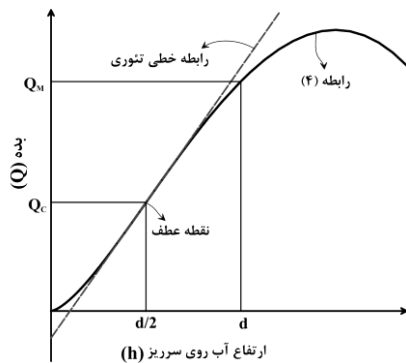
$$0 \leq h \leq y_1$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} b h^{3/2} - \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\theta h^{5/2} \quad (5)$$

$$y_1 \leq h \leq h_{\max}$$

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} b h^{3/2} - \frac{8}{15} C_d \sqrt{2g} \tan\theta [h^{5/2} - (h - y_1)^{5/2}] \quad (6)$$

به دست می‌آید. برای انجام این کار ابتدا مختصات نقطه عطف محاسبه شده است (رابطه ۹).



شکل ۷- رابطه بده- اشل سرریز مثلثی معکوس و خط برازشی

$$\frac{d^2Q}{dh^2} = 0 \Rightarrow h_c = \frac{1}{2}d \quad (9)$$

حال شیب تابع در نقطه عطف محاسبه می‌شود:

$$m = \frac{dQ}{dh} \Big|_{h_c=d/2} = C_d \sqrt{g} (bd^{1/2} - \frac{2}{3} \tan \theta d^{3/2}) \quad (10)$$

با تعیین مقدار بده در نقطه عطف و مساوی قرار دادن آن با رابطه خطی مقدار عرض از مبدأ به دست می‌آید.

$$\left. \begin{aligned} Q|_{h_c=d/2} &= C_d \sqrt{g} \left(\frac{1}{3} b d^{3/2} - \frac{2}{15} \tan \theta d^{5/2} \right) \\ Q &= m h + c ; h = \frac{d}{2} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

$$\Rightarrow c = C_d \sqrt{g} \left(-\frac{1}{6} b d^{3/2} + \frac{1}{5} \tan \theta d^{5/2} \right)$$

در نتیجه رابطه خطی تئوری به صورت زیر به دست می‌آید:

$$Q = C_d \sqrt{g} \left[\left(b d^{1/2} - \frac{2}{3} \tan \theta d^{3/2} \right) h + \left(-\frac{1}{6} b d^{3/2} + \frac{1}{5} \tan \theta d^{5/2} \right) \right] \quad (12)$$

طبق رابطه ۱۲ برای یک مقطع مشخص با داشتن ضریب بده می‌توان رابطه خطی بین بده و ارتفاع آب روی سرریز تناسبی را تعیین کرد. همچنین لازم به ذکر است اگرچه رابطه ۱۲ برای سرریز مثلثی معکوس به دست آمد اما برای سرریزهای دودکشی و دو مثلثی معکوس نیز صادق است، چون در این سرریزها با قرارگیری یک مقطع (مستطیل یا مثلث) بر روی یک مثلث معکوس، محدوده رفتار خطی تابع بعد از نقطه عطف افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان رفتار خطی تابع بعد از نقطه عطف را نیز با رابطه خطی برازشی حاصل از سرریز مثلثی معکوس تقریب زد.

جدول ۱ پارامترهای طراحی سرریزهای تناسبی خطی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- پارامترهای طراحی سرریزهای تناسبی خطی (وطن‌خواه، ۲۰۱۲)

ماکزیمم خطا (درصد)	z_1^*	z_2^*	y_1^*
۱/۸	۱/۳۷۸۸۵	۰/۸۰۷۳۲	۰/۶
۱/۳	-۱/۵۱۵۸۳	۰/۲۴۵۴۳	۰/۵
۱/۱	-۱/۶۰۱۹	۰/۰۵۹۱۵	۰/۴۵
۱	-۱/۶۴۵۸۴	۰	۰/۴۳
۰/۸	-۱/۷۲۵۳۵	-۰/۰۷۱۹۹	۰/۴
۰/۳	-۲/۱۰۲۲۷	-۰/۲۷۵۴۹	۰/۳

جدول $z_1^* = z_1 \frac{h_m}{b}$; $z_2^* = z_2 \frac{h_m}{b}$; $y_1^* = \frac{y_1}{h_m}$ و h_m بار

آبی بیشینه برای طراحی و ستون آخر نشان دهنده‌ی بیشینه خطا از رابطه خطی مورد انتظار بین بده و بار آبی روی سرریز است.

مواد و روش‌ها

استخراج رابطه خطی تئوری

در سرریزهای تناسبی خطی با وجود نبودن رابطه خطی بین بده و بار آبی، در یک محدوده‌ی مشخص می‌توان با تقریب مناسبی براساس رابطه ۸ رفتار خطی را پذیرفت.

$$Q_{Th} = m h + c \quad (8)$$

که در آن Q_{Th} بده تئوری، m شیب خط و c عرض از مبدأ است.

در این پژوهش برای به دست آوردن این رابطه خطی از روش پیشنهادی زیر استفاده شد.

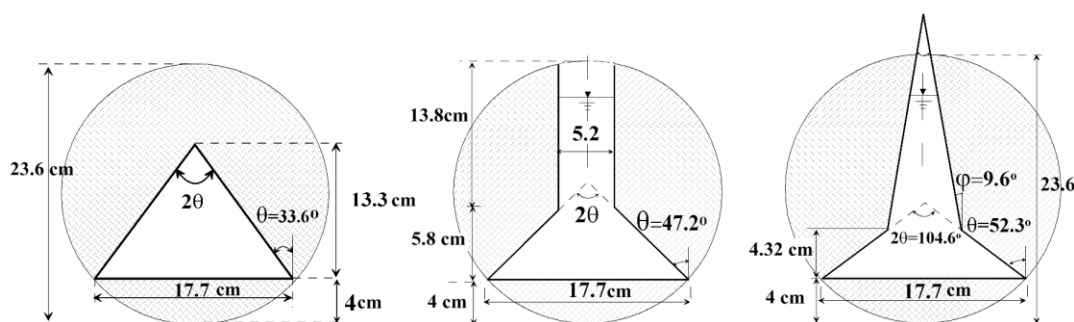
با توجه به رابطه بده- اشل سرریز مثلثی معکوس (رابطه ۴) و رسم آن (شکل ۷) مشاهده می‌شود که محدوده خطی بین نقاط اکسترمم تابع قرار گرفته است. با توجه به این که بین نقاط کمینه و بیشینه تابع نقطه عطف وجود دارد و در این نقطه شیب تابع تغییر می‌کند، شیب این نقطه بیانگر شیب متوسطی از محدوده رفتار خطی بین نقاط کمینه و بیشینه تابع است. بنابراین این شیب همان شیب رابطه خطی خواهد بود و همچنین محل تلاقی رابطه خطی با تابع نقطه عطف است. بنابراین با به دست آوردن نقطه عطف تابع و محاسبه شیب تابع در نقطه عطف شیب رابطه خطی حاصل می‌شود. سپس با مساوی قرار دادن رابطه‌های ۴ و ۸ عرض از مبدأ رابطه خطی نیز

سرریز به دست آمد. در هر آزمایش برای تغییر بده ورودی از دستگاه کنترل دور الکتروموتور استفاده شد، این دستگاه تغییرات بسیار اندک در جریان ورودی را برای کاربر میسر کرده و باعث افزایش تعداد نقاط برداشت شده با تغییرات بسیار اندک بده می‌گردد. برای هر سرریز ۳۰ آزمایش برای بده‌های مختلف به دو صورت کاهشی و افزایشی انجام شد. در مجموع ۱۸۰ آزمایش روی سرریزهای طراحی شده انجام شد. محدوده تغییرات ارتفاع آب روی سرریز ۱۴-۲ سانتی‌متر و بده ۸-۲ لیتر بر ثانیه است. حد پایین اندازه‌گیری عمق آب روی تاج این سرریز ۳ سانتی‌متر توصیه شده است (باس، ۱۹۸۹). بنابراین برای تحلیل جریان از ارتفاع‌های بزرگتر از ۳ سانتی‌متر استفاده شد.

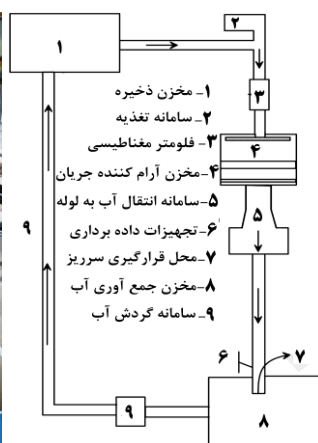
محل اندازه‌گیری عمق جریان برای سرریز تناسبی خطی دو برابر بیشه بار آبی است (باس، ۱۹۸۹). در این پژوهش برای تعیین محل اندازه‌گیری عمق جریان با نصب پیزومتر ها در فاصله‌های مشخص از سرریز، فاصله ۲۲ سانتی‌متر از سرریز برای اندازه‌گیری عمق جریان انتخاب شد. در شکل ۹ نمایی توصیفی و واقعی از مجموعه آزمایشگاهی آورده شده است.

بررسی آزمایشگاهی سرریزهای تناسبی مربوط به کانال‌های منشوری بوده و تاکنون عملکرد این سرریزها در مقاطع دایره‌ای بررسی نشده است. برای بررسی این سرریزها در مقطع دایره، با استفاده از جدول طراحی پیشنهادی وطن‌خواه (۲۰۱۲) سه سرریز (مثلثی معکوس، دودکشی و دو مثلثی معکوس) طراحی و ساخته شد. لازم به ذکر است که ابعاد سرریزها با لحاظ بار آبی بیشینه طراحی با استفاده از جدول طراحی وطن‌خواه (۲۰۱۲) به دست آمد. سپس عملکرد این سرریزها در آزمایشگاه بررسی شد. سرریزهای طراحی شده در انتهای یک مقطع دایره‌ای به قطر ۲۳/۶ سانتی‌متر در ارتفاع ۴ سانتی‌متری از کف لوله نصب شد که ابعاد آن‌ها در (شکل ۸) نشان داده شده است، لازم به ذکر است که طراحی سرریزها برای عبور حداکثر بده ۸ لیتر بر ثانیه انجام شد.

برای اندازه‌گیری بده ورودی در مجموعه آزمایشگاهی از فلومتر مغناطیسی استفاده شد که درستی اندازه‌گیری گزارش شده آن توسط شرکت سازنده ۰/۵ درصد بیشینه عدد دبی (Full Scale) است. همچنین برای افزایش درستی اندازه‌گیری بار آبی روی سرریز اقدام به عکس برداری از پیزومتر مربوط به سرریز شد، سپس با رقوم‌سازی آن با نرم‌افزار گرافر ۸ مقدار بار آبی روی هر



شکل ۸- نمایی توصیفی از سرریزهای آزمون شده



شکل ۹- نمایی توصیفی و واقعی از مجموعه آزمایشگاهی

نتایج و بحث

برای تعیین رابطه بده- بار آبی هر سرریز، بده‌های به دست آمده از فلومتر مغناطیسی برای کل آزمایش‌های انجام شده روی هر سرریز، در مقابل H^* ترسیم شد (H^* برابر با نسبت بار آبی به ارتفاع تاج سرریز ($p=4\text{cm}$) است). سپس با عبور خط برازشی از میان داده‌ها رابطه بین بده و H^* روی سرریز به دست آمد (شکل). از آنجا که محدوده‌ای رفتار خطی جریان برای ما مهم است پس رابطه برازشی فقط برای این محدوده به دست آمد. با توجه به شکل دیده می‌شود که با وجود اینکه سرریزها در یک مقطع دایره‌ای بر خلاف استانداردهای معمول نصب شده است، اما رابطه‌های خطی مورد انتظار بین بده و بار آبی اتفاق افتاده است. در واقع به نظر می‌رسد شکل مقطع کانال با تأثیر در ضریب بده (شکل ۱۱) باعث تغییر آن در بازه $0.66-0.8$ شده است در حالیکه مقدار ضریب بده گزارش شده این سرریز توسط کشاورا مورتی و گایریدهار (۱۹۸۹) در حالت متداول برای مقطع مستطیلی در محدوده $0.62-0.68$ است.

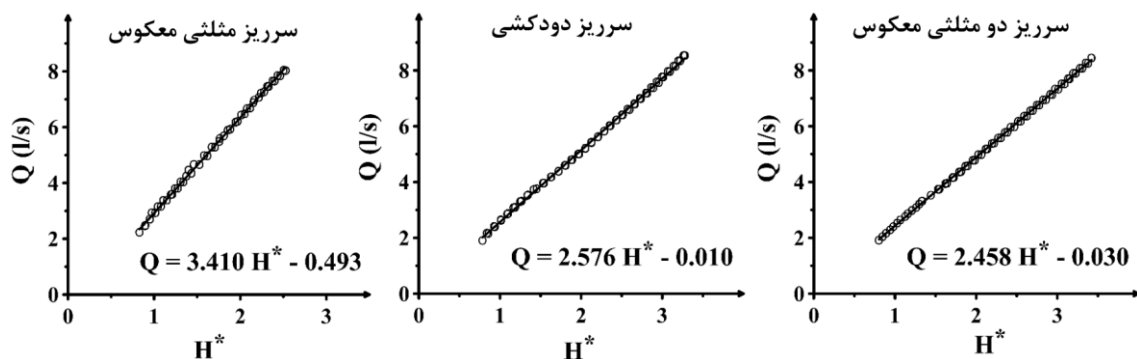
مقایسه بین سرریزهای آزمون شده

یکی از راه‌های مقایسه بین سرریزهای آزمون شده، بررسی میزان خطای نسبی بده تجربی با بده حاصل از خط برازش داده شده با داده‌ها است. هرچه مقدار خطای نسبی کمتر باشد، بیانگر این است که سرریز رفتار خطی‌تری از خود نشان داده است. برای محاسبه مقدار خطای نسبی از رابطه ۱۳ استفاده شده است.

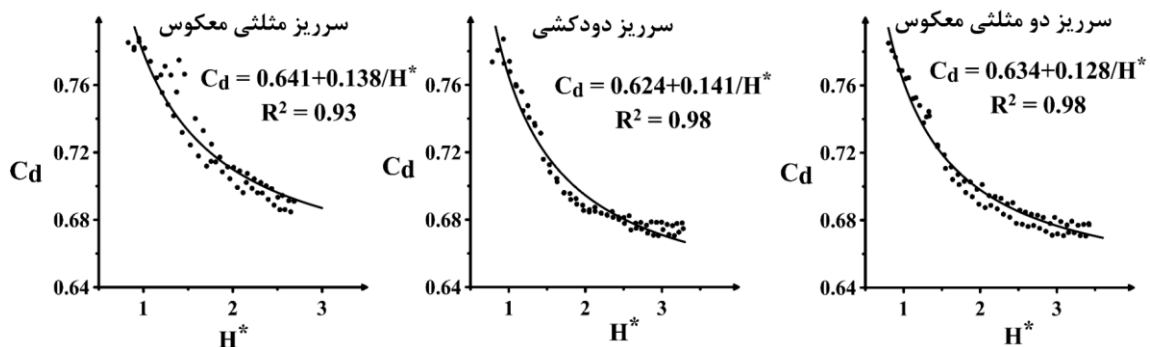
$$e(\%) = \left(\frac{Q_{\text{Exp}} - Q_{\text{Cal}}}{Q_{\text{Exp}}} \right) \times 100 \quad (13)$$

در این رابطه e خطای نسبی، Q_{Exp} بده تجربی و Q_{Cal} دبی محاسبه شده با رابطه برازشی است.

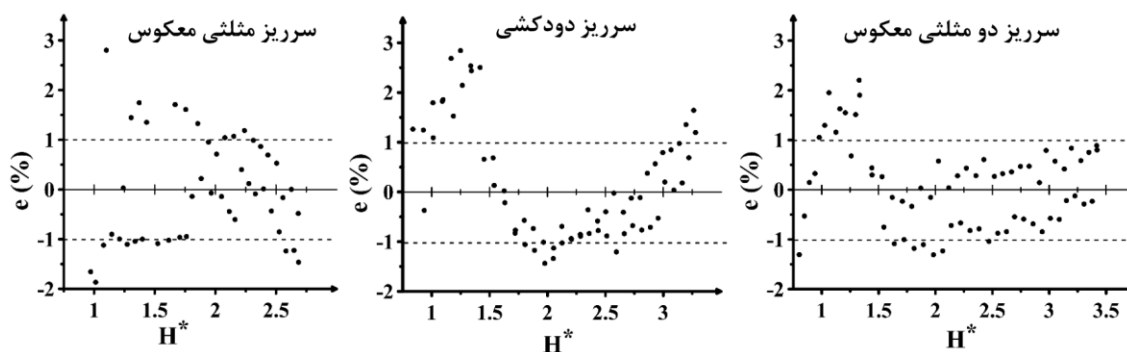
با توجه به شکل برای سرریزهای آزمون شده چنانچه بیشینه درصد انحراف بده‌های تئوری از رابطه خطی (خطای نسبی) $\pm 1\%$ در نظر گرفته شود، محدوده‌ی رفتار خطی سرریز مثلثی معکوس بین حدود $1.8 \leq H^* \leq 2.5$ و برای سرریزهای دودکشی و مثلثی معکوس به‌ترتیب بین حدود $1.5 \leq H^* \leq 3.25$ و $1.3 \leq H^* \leq 3.5$ خواهد بود. همچنین برای سرریز مثلثی معکوس 50% داده‌ها و برای سرریزهای دودکشی و دو مثلثی معکوس به‌ترتیب 66% و 73% داده‌ها دارای خطای نسبی بین $\pm 1\%$ است.



شکل ۱۰- رابطه بین بده و H^* برای سرریزهای آزمون شده



شکل ۱۱- رابطه بین ضریب بده و H^* برای سرریزهای آزمون شده



شکل ۱۲- خطای نسبی در مقابل H^* برای سرریزهای آزمون شده

سرریز دیگر نبوده و از مقدار واحد کمی فاصله دارد. نتایج علاوه بر تأیید رفتار خطی تئوری پیش بینی شده، عملکرد مطلوب ابعاد پیشنهادی با روش بدون بعد طراحی را تأیید می‌کند. نتایج نشان داد که سرریز دو مثلثی معکوس با محدوده رفتار خطی بیشتر بین بده و بار آبی و خطای نسبی کمتر نسبت به دو سرریز دیگر دارای عملکرد مطلوب‌تری است. همچنین محدوده ضریب بده این سرریزها در مقاطع دایره‌ای بین ۰/۶۶ و ۰/۸ به دست آمد.

سپاس‌گزاری

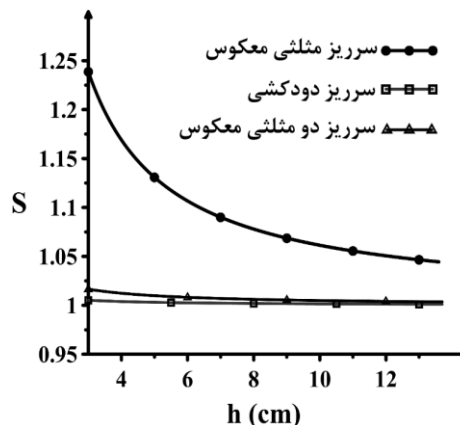
این پژوهش در راستای هدف‌ها و مأموریت‌های قطب علمی ارزیابی و بهسازی شبکه‌های آبیاری و زهکشی و با حمایت‌های دانشگاه تهران و قطب یاد شده انجام شده است. بدین وسیله از حمایت‌های مذکور تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Bos M. G. 1989. Discharge measurement structures. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Publication No 20 Wageningen, The Netherlands. 401 p.
2. Keshava Murthy K. and Gopalakrishna Pillai K. 1978. Design of constant accuracy linear proportional weirs. Journal of Hydraulic Engineering Division (former title). 104(4):527-541.
3. Keshava Murthy K. and Giridhar D. P. 1989. Inverted V-notch: A practical proportional weir. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 115(6):1035-1050.
4. Keshava Murthy K. and Giridhar D. P. 1990. Improved inverted v-notch or chimney weir. Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 116(3):374-386.
5. Ramamurthy A S. Subramanya K. and Pani B S. 1977. Quadrant-plate weirs. Journal of Hydraulic

حساسیت هیدرولیکی سرریزهای آزمایش شده عملکرد آنها را به خوبی نشان می‌دهد. برای تعیین حساسیت هیدرولیکی از رابطه ۱ و رابطه برازشی بین داده‌ها استفاده شد. نتایج حاصل از محاسبات در شکل ۸ نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۸ دیده می‌شود با توجه به اینکه در سرریز تناسبی خطی حساسیت هیدرولیکی برابر با یک است، حساسیت هیدرولیکی سرریزهای دو مثلثی معکوس و دودکشی به طور تقریبی برابر یک حاصل شده است که فرض اولیه طراحی سرریز تناسبی خطی را تأیید می‌کند.



شکل ۸- حساسیت هیدرولیکی در مقابل بار آبی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با توجه به این که سرریز تناسبی نسبت به سرریزهای دیگر شرایطی را فراهم می‌کند که اندازه‌گیری بده با درستی بیشتری انجام شود و با توجه به عدم بررسی عملکرد این سرریزها در مقاطع دایره‌ای، سه سرریز تناسبی خطی طراحی و بررسی شد. نتایج این پژوهش نشان داد که در همه سرریزهای آزمون شده رابطه خطی مورد انتظار بین بده و بار آبی ایجاد شده است ولی حساسیت هیدرولیکی سرریز مثلثی معکوس به خوبی دو

- Engineering Division. ASCE. 103(12):1431-1441.
6. Venkatarraman P. and Subramanya K. 1973. A practical proportional weir. Water Power. 25(5):189-190.
 7. Vatankhah A. R. 2012. Head-Discharge Equation for Sharp-Crested Weir with Piecewise-Linear Sides. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ([http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000497](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000497)).

