

مقاله علمی-پژوهشی

تأثیر فشردگی جانبی بر ضریب دبی در سرریز دودکشی با استفاده از شبیه‌سازی عددی

محمد جلالی<sup>۱</sup>، رامین فضل‌اولی<sup>۲\*</sup>، علیرضا عمادی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱

چکیده

سرریز جذری یکی از انواع منحصر به فرد از سرریزهای لبه‌تیز و با قابلیت‌های ویژه‌ای است که می‌تواند برای اندازه‌گیری جریان در کانال‌های انتقال آب، شبکه‌های آبیاری و جمع‌آوری رواناب شهری مورد استفاده قرار گیرد. تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر فشردگی جانبی بر ضریب دبی این نوع سرریز انجام شد. برای این منظور جریان عبوری از یک سرریز تناسبی جذری (دودکشی) در ۱۰ عرض مختلف از یک کانال مستطیلی با نسبت‌های بازشدگی عرضی بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد، به صورت سه‌بعدی در نرم‌افزار آنسیس فلونت شبیه‌سازی و با استفاده از نتایج آزمایشگاهی مشابه، واسنجی شد. پس از اندازه‌گیری عمق آب در بالادست سرریز به ازای هر یک از دبی‌های عبوری، متوسط ضریب دبی در محدوده بین دو تا سه برابر ارتفاع پایه به ازای هریک از عرض‌های مختلف کانال بالادست، محاسبه شد. نتایج نشان داد که ضریب دبی در نسبت‌های بازشدگی بین ۱۰ تا ۳۰ درصد، ثابت بوده و مقدار آن ۰/۶ به‌دست آمد ولی با افزایش نسبت بازشدگی عرضی از ۳۰ تا ۱۰۰ درصد، ضریب دبی افزایش یافته و مقدار نهایی آن در باز شدگی ۱۰۰ درصد معادل ۰/۶۵ به‌دست آمد. در نهایت یک رابطه تجربی برای تصحیح ضریب دبی بر اساس نسبت بازشدگی عرضی پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: آنسیس فلونت، تصحیح ضریب دبی، سرریز تناسبی جذری، نسبت بازشدگی عرضی

مقدمه

سرریزها به دلیل داشتن ساختمانی ساده و دقت مناسب یکی از متداول‌ترین سازه‌هایی هستند که برای اندازه‌گیری بده جریان و کنترل سطح آب در کانال‌ها استفاده می‌شوند. تنوع سرریزها از نظر شکل و روابط هیدرولیکی بسیار زیاد است و به دلیل کاربرد وسیع آنها، پژوهش‌های زیادی برای شناخت رفتار هیدرولیکی و روابط حاکم بر جریان در آنها انجام شده است. سرریزهای تناسبی گروهی از سرریزهای لبه‌تیز هستند که به دلیل دارا بودن رابطه‌ای خطی بین بده و بارآبی، حساسیت کمتری نسبت به سایر سرریزها برخوردارند و می‌توانند به عنوان ابزار دقیقی برای تعیین دبی عبوری در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار بگیرند. سرریزهای تناسبی به سه نوع خطی، درجه دومی (جذری) و لگاریتمی طبقه‌بندی می‌شوند. سرریز جذری به دلیل

داشتن رابطه خطی بین دبی عبوری و ریشه دوم بارآبی در بالادست سرریز، نسبت به خطای اندازه‌گیری عمق آب، حساسیت کمتری نسبت به سایر سرریزها دارد چراکه نسبت خطای محاسبه دبی بر خطای اندازه‌گیری ارتفاع آب، با توان بار آب در معادله سرریز متناسب است. از سرریزهای تناسبی برای حفظ سرعت جریان آب در محدوده سرعت متوسط و کنترل مواد شناور در حوضچه‌های رسوب‌گیری استفاده می‌شود (Keshava Murthy and Pillai, 1978). همچنین به دلیل شکل خاص این سرریز، می‌توان آن را بدون بالآمدگی لبه از کف کانال نصب کرد تا عبور بار رسوبی به راحتی امکان‌پذیر بوده و از تجمع رسوب در بالادست سرریز جلوگیری شود. بنابراین به‌جای نام سرریز، عنوان ابزار اندازه‌گیری ریشه دوم، برای آن انتخاب شده است (Keshava Murthy and Prakash, 1995). در این مقاله جریان عبوری از یک سرریز لبه‌تیز جذری (دودکشی) که در یک کانال مستطیلی و بدون بالآمدگی لبه سرریز از کف کانال، نصب شده در نرم‌افزار آنسیس فلونت شبیه‌سازی شده و با استفاده از نتایج مدل عددی، تأثیر انقباض جانبی بر ضریب دبی بررسی شده است. ایده سرریزی که بتواند رابطه دبی و ارتفاع را به‌صورت خطی

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و

منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(Email:raminfazl@yahoo.com

\*) نویسنده مسئول:

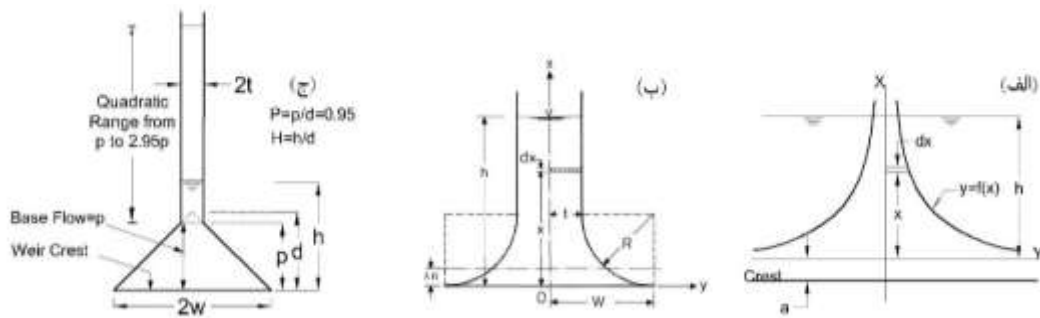
و پروفیل EBM<sup>۵</sup> به وجود آمده است (شکل ۱-ب) (Keshava Murthy and Gridhar, 1991). کشاور مورتی و پراکاش یک طرح کاربردی از سرریز کوآدراتیک با شکل هندسی ساده ارائه داده و آن را ابزار اندازه‌گیری ریشه دوم نامیدند. طرح آن به شکل یک مثلث وارونه است که در بالای آن یک شکاف مستطیلی در ارتفاع مشخصی نصب شده و دامنه جذری آن، از ابتدای این قسمت مستطیلی تا ۲/۹۵ برابر ارتفاع پایه تعیین شد (شکل ۱-ج) (Keshava Murthy and Prakash, 1995).

کیان مهر و همکاران (۱۳۹۳) پژوهشی را بر روی سه نمونه سرریز تناسبی خطی با شکل‌های مثلثی معکوس، دودکشی و دومثلثی معکوس در یک کانال دایره‌ای انجام داده و گزارش کردند که رابطه خطی بین دبی عبوری و بار آبی در هر سه سرریز وجود دارد ولی سرریز دومثلثی معکوس دارای عملکرد بهتری بوده و انحراف کمتری از رابطه خطی برازشی دارد به علاوه ضریب دبی با افزایش ارتفاع آب، روند کاهشی دارد (تاج سرریزها ۴ سانتی‌متر بالاتر از کف آبراهه دایره‌ای نصب شده‌اند). نیستوران و همکاران آزمایشاتی را روی سرریز تناسبی خطی مدل سوترو با هدف واسنجی و ارائه روش طراحی شکل سرریز بر اساس حداکثر دبی قابل اندازه‌گیری و ابعاد کانال انجام دادند، آن‌ها سرریزها را در دو نوع متقارن و نامتقارن و از جنس بدنه متفاوت و ابعاد و پروفیل‌های مختلف ساخته و به صورت فیزیکی مورد آزمایش قرار دادند و گزارش کردند که رابطه خطی بین دبی و عمق آب در همه سرریزهای مطالعه شده وجود دارد، مقدار ضریب دبی در محدوده آزمایش شده نسبت به عمق آب، دبی عبوری و عدد رینولدز تقریباً ثابت است و بین ۰/۶ تا ۰/۶۲۵ نوسان دارد، ضریب دبی در سرریزهای نامتقارن نسبت به سرریزهای متقارن بزرگ‌تر است و نوع جنس بدنه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر رابطه سرریز و مقدار ضریب دبی ندارد (Nistoran et al., 2019). غفاری گوشه و همکاران (۱۳۹۷) عملکرد سرریز دودکشی را به عنوان یک سرریز جانبی با رابطه تناسبی خطی مورد بررسی آزمایشگاهی قرار داده و نتیجه گرفتند که وقتی این سرریزها به عنوان آبگیر جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ضریب بده، تابعی از نسبت‌های بدون بعد بارآبی به ارتفاع تاج سرریز و طول تاج سرریز به ارتفاع تاج سرریز می‌باشد.

تحقیقاتی که تا یک دهه اخیر در زمینه سرریزهای خطی و جذری صورت گرفته و به تعدادی از آنها اشاره شد، با هدف ساده کردن شکل و توسعه کاربرد آن‌ها بوده است. در سال‌های اخیر انواع شکل‌های ساده شده و قابل ساخت ابداع شده‌اند و روابطی نیز برای آنها ارائه شده ولی هنوز استفاده از این سرریزها، گسترش نیافته و به انجام تحقیقات بیشتر نیازمند است.

برقرار کند برای اولین بار توسط استوت<sup>۱</sup> در سال ۱۸۹۷ ارائه شد (Ackers et al., 1989). پروفیل پیشنهادی در  $x=0$  دارای (عرض بی‌نهایت)  $y=\infty$  بوده و این مسئله ساخت و بهره‌برداری از آن را غیرممکن می‌ساخت (شکل ۱-الف)، پس از آن سوترو<sup>۲</sup> در سال ۱۹۰۸ این مشکل را با قطع کردن شاخه‌های بینهایت و اضافه کردن یک پایه مستطیلی به سرریز حل کرد (Ackers et al., 1989). بر این اساس، دو نوع عمده از سرریزهای خطی توسط سوترو و رتگر<sup>۳</sup> ارائه شد، آنها با جایگزین کردن قسمت پایینی شکاف با یک مستطیل که مساحت آن برابر با کل مساحت از دست رفته می‌باشد یک شکل مناسب و کاربردی به دست آوردند (Ackers et al., 1989). تجربه‌های بعدی نشان داد پروفیل سوترو مناسب‌تر از شکل پیشنهادی رتگر بوده و به همین علت بیشتر مورد توجه محققین هیدرولیک قرار گرفته است (Singer and Lewis., 1966). هازپرا برای اولین بار ایده سرریزهای تناسبی جذری (کوآدراتیک) را با دو قسمت پایه و فوقانی مطرح و روابط آن‌را ارائه نمود (Haszpra, 1966). ونکاتارامن و سوبرامانیا به بررسی آزمایشگاهی سرریزی با مقطع ربع دایره بر روی یک مقطع مستطیلی پرداختند و وجود رابطه خطی بین دبی عبوری و ارتفاع آب را در دامنه مشخصی از ارتفاع گزارش کردند (Venkatarraman and Subramanya, 1973). رامامورتی و همکاران سرریزی با مقطع ربع دایره با پایه‌های مختلف به شکل‌های مستطیلی، مثلثی و دایره‌ای را آزمایش کرده و وجود رابطه خطی در قسمت بالایی این سرریزها را گزارش کردند (رفتار سرریزها در قسمت پایه خطی نیست) و سپس به بررسی ضریب دبی در این سرریزها پرداختند (Ramamurthy et al., 1977). کشاور مورتی و گیریدهار سرریزی به شکل مثلث وارونه در نظر گرفته و ضمن ارائه روابط تئوری آن چنین گزارش نمودند که رابطه خطی بین دبی و بارآبی در کل ارتفاع مثلث وجود ندارد، اما در یک محدوده مشخص می‌توان با تقریب قابل قبولی، رفتار خطی را پذیرفت همچنین کاهش زاویه رأس سرریز، محدوده رفتار خطی آن را کاهش می‌دهد (Keshava Murthy and Gridhar, 1989). کشاور مورتی و گیریدهار پروفیل سرریزی را ارائه دادند که به شکل ربع دایره بوده ولی قسمت پایه مستطیلی آن حذف شده است. از معایب سرریزهای ربع دایره کم‌بودن محدوده رابطه خطی آن می‌باشد. (این محدوده مساوی R شعاع ربع دایره است). این سرریزها BM<sup>۴</sup> نام‌گذاری شدند و سپس تحقیقاتی در جهت افزایش محدوده خطی بودن رابطه آن‌ها انجام و مماس‌های قائمی در انتهای فوقانی ربع دایره‌ها قرار داده شده

- 1- Stout
- 2- Sutro
- 3- Rettger
- 4- Bell Mouth



شکل ۱- الف- پروفیل استوت (Ackers et al., 1989)، ب- پروفیل EBM (Keshava Murthy and Gridhar, 1991)، ج- پروفیل دودکشی مورتی (Keshava Murthy and Prakash, 1995)

### مواد و روش‌ها

رابطه بین دبی عبوری و ارتفاع آب در سرریز دودکشی (شکل ۱- ج) با استفاده از معادله یک، به شرح زیر تعریف می‌شود (French, 1985):

$$q = C_d \sqrt{2g} \int_0^h \sqrt{h-x} f(x) dx \quad (1)$$

که در آن  $C_d$ ،  $f(x)$ ،  $g$ ،  $h$  و  $q$  به ترتیب ضریب دبی، تابع پروفیل سرریز، شتاب جاذبه، ارتفاع آب در بالادست سرریز، دبی عبوری از سرریز و محور افقی هستند. رابطه‌ی تئوری سرریز در دو حالت  $0 \leq h \leq p$  و  $h \geq p$  به شرح روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه است:

$$q = \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{2g} C_d \left[ 2w h^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{4}{5}\right) tg\theta h^{\frac{5}{2}} \right] \quad \text{for } 0 \leq h \leq p \quad (2)$$

$$q = \left(\frac{2}{3}\right) \sqrt{2g} C_d \left[ 2w h^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{4}{5}\right) tg\theta \left( h^{\frac{5}{2}} - (h-p)^{\frac{5}{2}} \right) \right] \quad \text{for } h \geq p \quad (3)$$

که در آن‌ها  $w$ ،  $p$ ،  $d$  و  $\theta$  به ترتیب ارتفاع پایه مثلث ( $w=d.tg\theta$ )، ارتفاع پایه ذوزنقه‌ای، نصف عرض تاج سرریز و نصف زاویه رأس مثلث در قسمت پایه هستند. این سرریز در محدوده ارتفاع  $h > p$  از دقت مناسبی برخوردار است و در محدوده  $h < p$  کارکرد قابل قبولی ندارد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، رابطه سرریز به مقدار  $p$  (ارتفاع قسمت ذوزنقه‌ای) بستگی دارد. کشاوا مورتی و پراکاش مقدار بهینه  $p$  را  $0.95d$  ارتفاع مثلث توصیه کرده ( $p=0.95d$ ) و گزارش کردند که اگر ارتفاع آب در محدوده  $p$  تا  $2.95p$  باشد، رفتار سرریز جذری است یعنی بین ریشه دوم عمق آب و دبی عبوری رابطه خطی وجود دارد و ضریب دبی را می‌توان مقدار ثابت  $0.61$  در نظر گرفت (Keshava Murthy and Prakash, 1995).

در این سرریز بر خلاف سرریزهای لبه تیز دیگر، با افزایش مقدار دبی عبوری از سرریز و افزایش عمق آب، سرعت جریان در بالادست

در این میان به نظر می‌رسد، سرریزی که توسط کشاوا مورتی و پراکاش (۱۹۹۵) ابداع شده و در شکل ۱- ج نمایش داده شده، به دلیل هندسه ساده‌تر و قابلیت‌های خاص آن، می‌تواند کاربرد خوبی داشته باشد به شرط آن که به دقت مورد بررسی قرار گرفته و رفتار هیدرولیکی آن در شرایط مختلف، قابل پیش‌بینی باشد. برای استفاده از هر ابزار اندازه‌گیری، دانستن مقدار ضریب دبی و عوامل مؤثر بر آن، بسیار مهم و ضروری است. مقدار ضریب دبی در این سرریزها، به پارامترهایی نظیر نسبت عمق آب به ارتفاع لبه از کف کانال (انقباض عمودی)، نسبت عرض لبه سرریز به عرض کانال (بازشدگی عرضی)، لزوجت سیال و کشش سطحی بستگی دارد (Keshava Murthy and Prakash, 1995).

در این تحقیق، سعی شده با شبیه‌سازی عددی، تأثیر نسبت بازشدگی یا انقباض عرضی بر ضریب دبی تعیین شود تا ضمن استاندارد کردن این پارامتر، استفاده از این سرریز خاص در کانال‌های آبیاری و سایر زمینه‌های مهندسی امکان‌پذیر گردد. گسترش و پیشرفت صنعت رایانه در زمینه سخت‌افزار و نرم‌افزار، امکانات جدیدی را به منظور حل عددی معادلات پیچیده هیدرولیکی برای محققین فراهم نموده است. استفاده از مدل‌های عددی، زمان و هزینه طرح‌های جدید مطالعاتی را به شدت کاهش داده و گزینه‌های متنوع طراحی و آزمایش را به راحتی فراهم می‌کند و در نهایت انبوهی از اطلاعات جزئی و فراگیر را در اختیار محقق قرار می‌دهد و استفاده از آن در تحقیقات مربوط به سرریزها رو به گسترش است. انسیس فلوئنت یکی از نرم‌افزارهای مهندسی است که با استفاده از روش حجم محدود، گستره وسیعی از مسائل دینامیک سیالات محاسباتی را شبیه‌سازی و حل می‌کند و در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است.

$$H = \frac{h}{d} \quad (5)$$

$$P = \frac{p}{d} \quad (6)$$

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right) H^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{4}{15}\right) H^{\frac{5}{2}}, \text{ for } 0 \leq H \leq P \quad (7)$$

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right) H^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{4}{15}\right) \left[ H^{\frac{5}{2}} - (H - P)^{\frac{5}{2}} \right] \\ \text{, for } H \geq P \quad (8)$$

که در آن‌ها  $H$  و  $Q$  به ترتیب دبی عبوری بی‌بعد و ارتفاع بی‌بعد آب در بالادست سرریز هستند. شکل بی‌بعد رابطه تئوری بین دبی عبوری و ارتفاع آب، مستقل از زاویه  $\theta$  می‌باشد بنابراین مقدار این زاویه با توجه به ظرفیت مورد انتظار، به دلخواه انتخاب می‌شود.

برای بررسی تأثیر نسبت بازشدگی عرضی بر ضریب دبی، یک نمونه سرریز دودکشی، با عرض تاج ۲۰، ارتفاع پایه مثلثی ۷/۱۱، ارتفاع پایه دوزنقه‌ای ۶/۷۵ و عرض قسمت مستطیلی یک سانتی‌متر طراحی شده است (شکل ۱-ج). جریان آب عبوری از سرریز، در نرم‌افزار انسیس فلونت نسخه ۱۹/۲ به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شده است. سرریز در انتهای یک کانال مستطیلی به طول ۸ متر، ارتفاع ۰/۸ متر و با عرض‌های مختلف، نصب شده و تاج سرریز روی کف آبراهه قرار داده شده (سرریز بدون بالا آمدگی لبه از کف کانال نصب شده است) و در پایین دست سرریز، یک کانال مستطیلی به طول ۲ متر، عرض متناسب با کانال بالادست و ارتفاع ۰/۸ متر تعبیه شده، کف کانال پایین دست به مقدار ۰/۸ متر نسبت به تاج سرریز، پایین برده شده تا جریان در پایین دست سرریز، ریزشی و کاملاً آزاد باشد. صفحه خروجی در انتهای کانال پایین دست تعریف شده است. عرض کانال بالادست از ۲۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر و طوری در نظر گرفته شده که نسبت بازشدگی عرضی از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد را شامل شود. با توجه به شرح پیش گفته، حداکثر ارتفاع آب در محل سرریز  $2.95p$  یا ۲۰ سانتی‌متر است و برای برقراری شرط انقباض کامل باید فاصله تاج سرریز از دیواره‌های کانال ۴۰ سانتی‌متر باشد. بنابراین اگر سرریزی با عرض ۲۰ سانتی‌متر در یک کانال مستطیلی با عرض ۱۰۰ سانتی‌متر نصب شود، شرط انقباض جانبی کامل برقرار خواهد شد. ده مدل عددی با ابعاد سرریز یکسان و با ۱۰ عرض مختلف کانال بالادست با اندازه‌های ۲۰، ۲۲، ۲۵، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سانتی‌متر تهیه شده و در هریک از آن‌ها، مقادیر مختلف عمق آب متناظر با دبی‌های عبوری متنوع، اندازه‌گیری شده است. طراحی و تعریف هندسه و مشخصات ابعادی مدل، در نرم‌افزار Designmodeler به صورت پارامتریک انجام شده است. شبکه‌بندی مدل در محیط نرم‌افزار Ansys Meshing انجام شده و برای دستیابی به شبکه منظم با ساختار، مدل به ۱۷ بلوک مجزا تقسیم شده و از المان‌های ۶ وجهی منتظم برای شبکه‌بندی استفاده شده است. کانال مستطیلی بالادست در مقطع عرضی به سه بلوک مجزا تقسیم شده است (شکل

سرریز و در نتیجه بار نظیر سرعت کاهش می‌یابد. با توجه به شکل خاص این سرریز، تغییرات سرعت جریان در محدوده‌ای که عمق جریان بین یک تا دو برابر ارتفاع پایه باشد، شدیدتر است و مقدار ضریب دبی نیز تغییرات بیشتری در این محدوده دارد ولی با افزایش عمق آب از دو تا سه برابر ارتفاع پایه، تغییرات سرعت در بالادست سرریز و به تبع آن تغییرات ضریب دبی هم کاهش می‌یابد.

با توجه به شرح پیش گفته، عواملی که ممکن است موجب تغییر ضریب دبی در این سرریز (تناسبی جذری) شوند، عبارتند از: تغییر هندسه سرریز تحت تأثیر نسبت‌های  $w/d$  و  $p/d$  که در این تحقیق به ترتیب مقادیر ۰/۹۵ و ۱/۴۰۶ برای نسبت‌های یاد شده به صورت ثابت انتخاب شده است.

تغییر در ارتفاع لبه سرریز از کف کانال (انقباض عمودی): در این تحقیق لبه سرریز بدون بالا آمدگی و روی کف کانال قرار داده شده است (بدون انقباض عمودی) که یکی از ویژگی‌های خاص این سرریز به شمار می‌رود و این کار برای سایر سرریزهای لبه تیز متداول، امکان‌پذیر نیست. باس حداقل ارتفاع لبه سرریز از کف کانال را برای استفاده از معادلات و روابط پیشنهاد شده برابر عرض سرریز توصیه کرده است (Bos, 1989).

تغییر در نسبت عرض سرریز به عرض کانال (نسبت بازشدگی عرضی): انتخاب هر اندازه‌ای برای تاج سرریز نسبت به عرض کانالی که قرار است سرریز در آن نصب شود، ممکن است شرایط متفاوتی را ایجاد کند، این نسبت می‌تواند محدوده‌ای از انقباض جانبی کامل تا بازشدگی کامل را شامل می‌شود. وقتی فاصله دیواره کانال از کناره‌های سرریز، بیشتر از دوبرابر حداکثر ارتفاع آب در محل سرریز باشد، در اصطلاح، سرریز با فشردگی یا انقباض جانبی کامل<sup>۱</sup> نصب شده و زمانی که حداکثر عرض تاج سرریز برابر با عرض کانال باشد، سرریز با بازشدگی کامل<sup>۲</sup> نامیده می‌شود (USB, 1997). براساس پیشنهاد باس حداکثر نسبت بازشدگی در سرریزهای مدل سوترو برای استفاده از معادلات و روابط پیشنهاد شده، ۳۳ درصد است (Bos, 1989) و در این تحقیق، تغییرات مقدار ضریب دبی تحت تأثیر نسبت‌های بازشدگی عرضی مختلف، از انقباض کامل تا کاملاً باز شده، بررسی خواهد شد.

از آنجا که مقدار دقیق ضریب دبی با انجام آزمایشات هیدرولیکی به دست می‌آید لذا برای برنامه‌ریزی انجام آزمایشات باید شکل بی‌بعد عوامل مؤثر و روابط حاکم بر آن‌ها تعیین شوند. عوامل بی‌بعد مؤثر در این تحقیق، به شرح روابط ۴ تا ۶ تعریف شده و در نتیجه می‌توان رابطه تئوری سرریز را به صورت معادلات ۷ و ۸ به دست آورد.

$$Q = \frac{q}{2C_d \sqrt{(2g)} \ t g \theta \ d^{\frac{5}{2}}} \quad (4)$$

- 1- Fully Side Contraction
- 2- Fully Suppressed

است استفاده شد (جلالی، ۱۳۷۶). در این آزمایشات سرریزی با ابعاد و نسبت‌های هندسی مشابه، از ورق آهنی به ضخامت دو میلی‌متر ساخته شده و پس از بررسی کامل و دقیق ابعاد، به صورت عمودی در انتهای یک کانال مستطیلی به عرض ۶۰ سانتیمتر (نسبت بازشدگی عرضی ۳۳ درصد) و طول ۸ متر و بدون بالآمدگی لبه سرریز از کف کانال نصب شده است. جریان آب ورودی، توسط یک الکتروپمپ سانتریفیوژ با قدرت ۱۱ کیلووات تأمین و با استفاده از شیرفلکه کشویی چدنی به قطر ۶ اینچ تنظیم شده است. در پایین دست کانال نیز مخزن آهنی دیگری برای اندازه‌گیری حجمی جریان عبوری، مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۳).

جریان آب عبوری از سرریز به داخل مخزن پایین دست، کاملاً ریزشی و آزاد بوده است. عمق آب در کانال بالادست و در موقعیت دلخواه با استفاده از یک لیمنوگراف با دقت  $\pm 0/1$  میلی‌متر و هم‌زمان دبی عبوری از کانال با روش حجمی و حداقل در سه تکرار اندازه‌گیری شد. سطح آب مخزن پایین دست با استفاده از پیژومتر با دقت  $\pm 0/5$  میلی‌متر و زمان پرشدن مخزن با استفاده از زمان‌سنج دیجیتالی با دقت  $\pm 0/1$  ثانیه اندازه‌گیری شد. پس از تنظیم شیرفلکه ورودی، ارتفاع آب در فواصل زمانی مشخص قرائت شد و ثابت ماندن عمق آب در سه قرائت متوالی، به عنوان شرط برقراری جریان یکنواخت در نظر گرفته شد. عمق آب به توصیه کشاوا مورتی و پراکاش (Keshava Murthy and Prakash, 1995) در فاصله ۴ متری بالادست سرریز اندازه‌گیری شد. در مدل فیزیکی، تنظیم دبی عبوری به مقدار دلخواه امکان‌پذیر نبوده و بر اساس ارتفاع تقریبی موردنظر، شیرفلکه ورودی تنظیم شده و پس از اطمینان از یکنواخت شدن جریان آب عبوری، نسبت به قرائت ارتفاع و اندازه‌گیری دبی عبوری اقدام شده است. بنابراین ابتدا داده‌های مدل فیزیکی که در ۹ عمق مختلف آزمایش شده و دبی‌های عبوری متناظر با آن‌ها اندازه‌گیری شده، انتخاب و سپس مدل عددی با عرض کانال و نسبت بازشدگی عرضی مشابه و دبی‌های عبوری یکسان با مدل فیزیکی، اجرا شده و عمق‌های آب مربوطه مشخص شده‌اند. از مجموع نه سری داده به‌دست آمده، از پنج داده برای واسنجی مدل عددی و از چهار داده دیگر برای صحت‌سنجی آن استفاده شد.

## نتایج و بحث

منحنی واسنجی و مقایسه عمق‌های به‌دست آمده از مدل عددی و آزمایشگاه، در شکل ۴ نشان داده شده است. رابطه خطی بین دبی عبوری و ریشه دوم عمق آب در هر دو مدل به خوبی دیده می‌شود و با استفاده از معادلات خط برازشی به داده‌ها، حداکثر خطای نسبی مدل عددی حدود ۱۴ درصد، به‌دست آمده و در شکل ۵ منحنی تغییرات خطا نسبت به عمق بی‌بعد آب ( $H=h/d$ ) و منحنی برازشی چندجمله‌ای درجه دوم آن نمایش داده شده است.

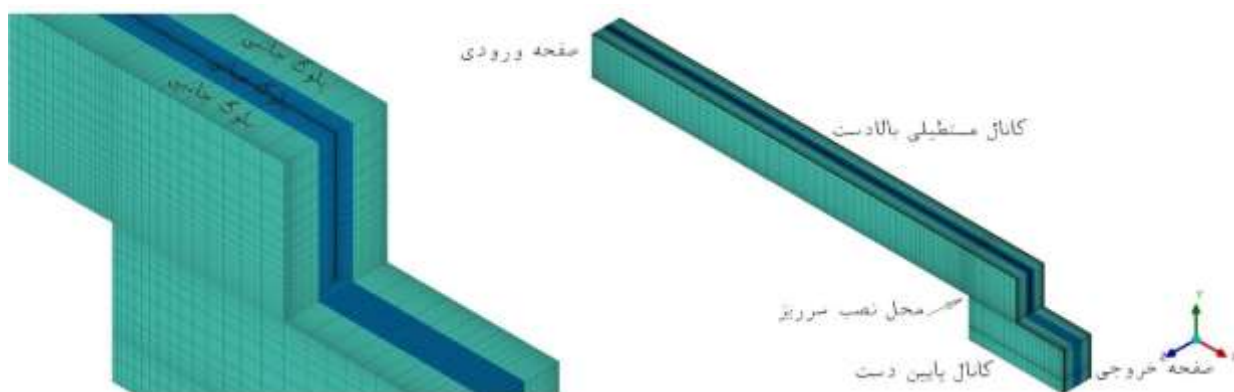
۲). بلوک میانی که شامل مقطع سرریز است، از صفحه ورودی در بالادست کانال تا محل نصب سرریز امتداد داشته و در تمام مدل‌ها دارای ساختاری یکسان و ثابت است. بلوک‌های جانبی، مکعبی شکل بوده و عرض آن‌ها، متناسب با عرض کانال بالادست تغییر می‌کند و در هر یک از مدل‌ها، فقط تعداد المان‌های این بلوک‌ها افزایش یا کاهش یافته و ابعاد المان‌ها نیز ثابت نگهداشته شده است. به عبارت دیگر، تفاوت مدل‌های تهیه شده، فقط محدود به عرض کانال و تعداد المان‌های بلوک‌های جانبی در کانال بالادست است.

استقلال از شبکه با تعداد المان‌های  $100880$  عدد (برای مدل با عرض کانال ۶۰ سانتیمتر) اثبات شده و بر این اساس، ابعاد المان‌ها در مدل‌های مختلف، تعیین شده است. برای شبیه‌سازی جریان، از مدل دوفازی آب و هوا در کانال روباز با گزینه رابط پراکنده<sup>۱</sup> استفاده شده است. برای حل معادلات کلی حاکم بر جریان شامل معادله پیوستگی و معادله ناویراستوکس، از مدل هفت معادله‌ای تنش رینولدز استفاده شده است.

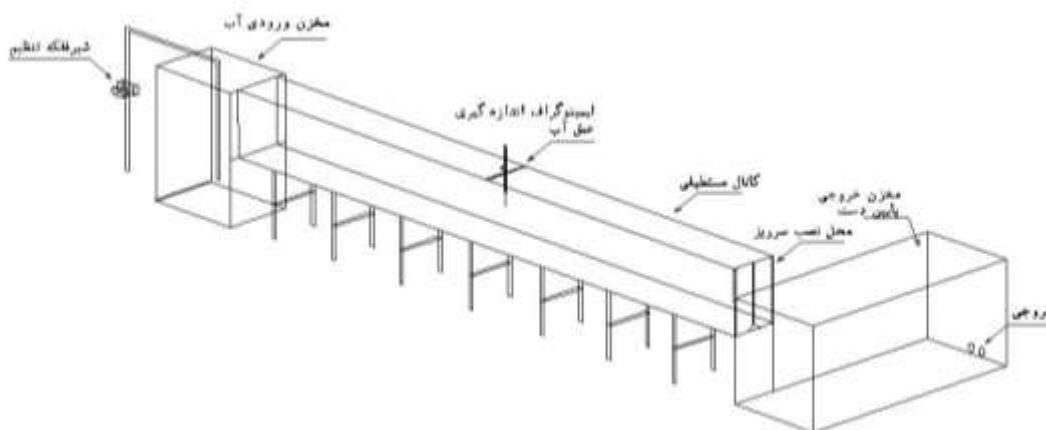
معادلات سرعت و فشار در حالت گذرا و با الگوریتم نیمه‌ضمنی SIMPLE<sup>۲</sup> و معادلات کسر حجمی جریان دوفازی با روش هم‌فشارنده<sup>۳</sup> حل شده‌اند. شرط مرزی دبی جرمی ورودی و گزینه کانال روباز برای وجه بالادست کانال انتخاب شده و در انتهای پایین دست کانال، برای سطح خروجی، شرط مرزی فشار خروجی با فشار اتمسفر در نظر گرفته شده است. برای سایر سطوح، شرط مرزی دیواره بدون لغزش<sup>۴</sup> و مدل زبری استاندارد تعیین شده است. حل مدل عددی با انتخاب دبی جرمی ورودی در صفحه ورودی شروع شده و در حالت گذرا با گام زمانی  $0/1$  ثانیه تا حداقل ۱۵۰۰ ثانیه ادامه داده شده و برای اطمینان از وقوع جریان یکنواخت، مقدار دبی جرمی در صفحه ورودی و صفحه خروجی از مدل مقایسه شده و اختلاف کمتر از یک هزارم دبی جرمی عبوری، به عنوان شرط دستیابی به جریان یکنواخت تعیین شده است و پس از دستیابی به این شرط، حل عددی متوقف شده و عمق آب در کانال بالادست با استفاده از مقدار فشار استاتیکی، بدست آمده است. با توجه به اینکه همه تنظیمات مدل‌های عددی به‌صورت کاملاً یکسان و مشابه انجام شده، می‌توان تفاوت به‌دست آمده در نتایج آن‌ها را، با اطمینان کافی، به تنها اختلاف مدل‌ها، یعنی عرض کانال بالادست مربوط دانست و با این روش، خطای سیستماتیک احتمالی، حذف شده است.

برای واسنجی مدل عددی، از نتایج آزمایشات نمونه فیزیکی که توسط نگارنده اول این مقاله در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه انجام شده

- 1- Dispersed Interface
- 2- Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations
- 3- Compressive Method
- 4- No Slip



شکل ۲- هندسه و شبکه‌بندی انجام شده مدل عددی در فلوئنت



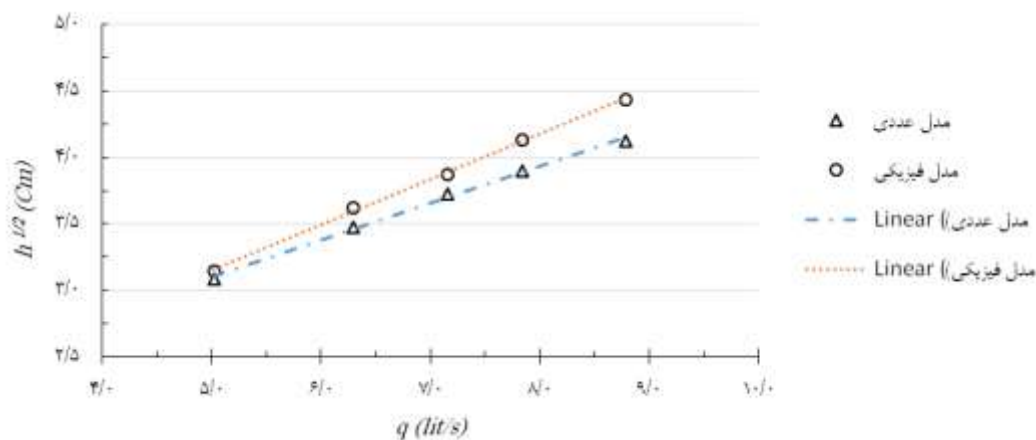
شکل ۳- نمای فلوم آزمایشگاهی (جلالی، ۱۳۷۶)

آمده از مدل عددی و عمق بی بعد آب هستند. پس از آن، با استفاده از رابطه ۹ مقادیر عمق آب به دست آمده از مدل عددی، برای داده‌های باقیمانده، اصلاح شد.

در نتیجه می‌توان رابطه بی‌بعد ۹ را برای محاسبه ضریب تصحیح مدل عددی و تخمین دقیق عمق آب تعریف نمود.

$$C_c = -6.014H^2 + 33.708H + 68.069 \quad (9)$$

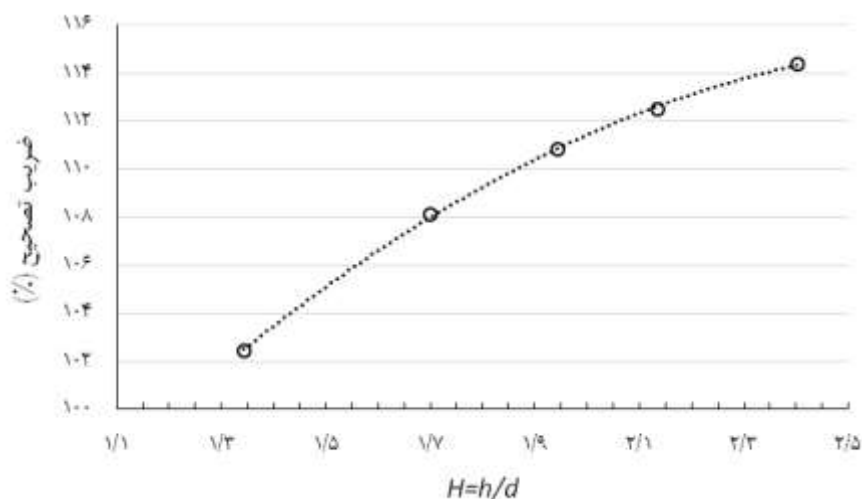
که در آن  $C_c$  و  $H$  به ترتیب ضریب تصحیح ارتفاع آب به دست



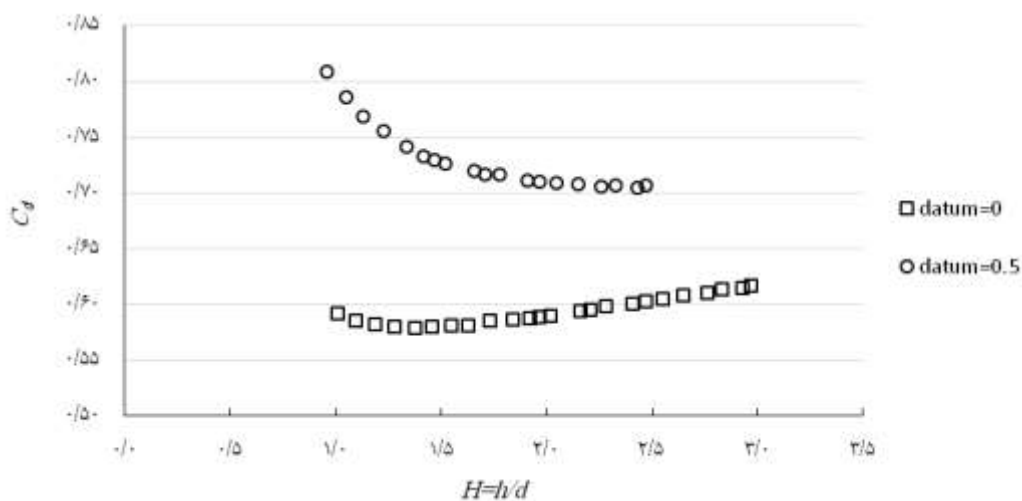
شکل ۴- رابطه میان جذر ارتفاع آب در ۴ متری بالادست سرریز و دبی عبوری در مدل فیزیکی و عددی

جدول ۱- نتایج صحت‌سنجی و محاسبه خطای نسبی مدل عددی

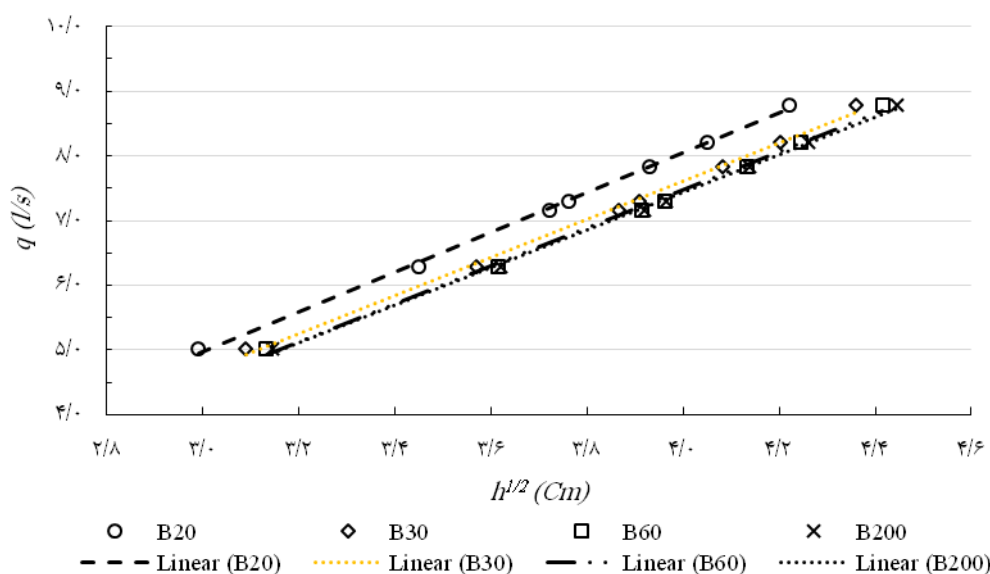
خطای نسبی SE%	عمق آب اندازه‌گیری شده $h_{lab}$ (Cm) در آزمایشگاه	عمق آب اصلاح شده $h_c$ (Cm) مدل عددی	ضریب تصحیح $C_c$ مدل عددی	عمق بی‌بعد $H=h/d$ آب	عمق آب اولیه در مدل عددی $h$ (Cm)	دبی عبوری $q$ (l/s)
-۰/۲۱	۱۱/۶۰	۱۱/۵۸	۱۰۵/۷۲	۱/۵۴	۱۰/۹۵	۵/۷۱
-۰/۳۱	۱۴/۰۲	۱۴/۰۶	۱۰۹/۳۶	۱/۸۱	۱۲/۸۶	۶/۶۴
-۰/۸۸	۱۵/۵۵	۱۵/۶۹	۱۱۱/۲۶	۱/۹۸	۱۴/۱۰	۷/۲۹
-۰/۴۲	۱۷/۹۵	۱۸/۰۳	۱۱۳/۳۷	۲/۲۴	۱۵/۹۰	۸/۲۲



شکل ۵- منحنی درصد خطا و ضریب تصحیح مدل عددی



شکل ۶- تغییرات ضریب دبی نسبت به عمق بی‌بعد آب و مقایسه تأثیر سطح مبنا



شکل ۷- رابطه خطی بین دبی عبوری از سرریز و ریشه دوم عمق آب در عرض‌های مختلف کانال بالادست

در ادامه، اندازه‌گیری عمق آب در هفت دبی مختلف عبوری از سرریز، در ۱۰ عرض مختلف کانال بالادست (B) انجام شده و در مجموع ۷۰ سری داده، جمع‌آوری شده است. عمق آب قرائت شده از مدل عددی، بر اساس رابطه ۹ اصلاح شد و در شکل ۷ تغییرات دبی عبوری از سرریز نسبت به ریشه دوم عمق آب در عرض‌های مختلف کانال بالادست نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که تغییر عرض کانال بالادست، تأثیری بر رابطه خطی بین پارامترهای گفته شده ندارد (برای وضوح بیشتر فقط ۴ سری از داده‌ها نمایش داده شده‌اند). مقدار متوسط ضریب دبی برای عرض‌های مختلف کانال بالادست در محدوده  $2 < H < 3$  محاسبه شده و منحنی تغییرات آن نسبت به بازشدگی عرضی<sup>۲</sup> در شکل ۸ نشان می‌دهد که با بزرگ‌تر شدن نسبت عرضی سرریز، مقدار ضریب دبی نیز از ۰/۶ تا ۰/۶۵ (حدود ۸٪) افزایش می‌یابد ولی این تغییرات خطی نبوده و مقدار ضریب دبی برای نسبت‌های عرضی کمتر از ۰/۳ تقریباً ثابت است و هرچه نسبت عرضی بزرگتر می‌شود، شیب منحنی نیز تندتر می‌شود. با تغییر عرض کانال بالادست از ۶۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر (نسبت بازشدگی عرضی بین ۰/۳۳ و ۰/۱)، مقدار ضریب دبی تغییر چندانی نداشته و حدود ۰/۶ به دست آمده است و در جهت مقابل، با تغییر فقط ۱۰ سانتی‌متر در عرض کانال بالادست از ۳۰ به ۲۰ سانتی‌متر، و تغییر نسبت بازشدگی عرضی از ۶۷٪ به ۱۰۰٪، مقدار متوسط ضریب دبی از ۰/۶۱۴ تا ۰/۶۴۷ افزایش یافته است و نشان دهنده این است که در نسبت‌های بازشدگی عرضی بزرگ‌تر از ۶۰ درصد، حساسیت سرریز به این نسبت بیشتر شده و مقدار ضریب دبی به

مقایسه این داده‌ها با مقادیر آزمایشگاهی، که در جدول ۱ آورده شده، حاکی از آن است که خطای نسبی محاسبه عمق آب در مدل عددی پس از تصحیح با استفاده از رابطه ۹، کمتر از یک درصد است. با استفاده از نتایج به دست آمده و رابطه تئوری سرریز، مقدار ضریب دبی محاسبه و منحنی تغییرات آن در مقابل ارتفاع بی‌بعد بارآبی در شکل ۶ رسم شده و نشان می‌دهد که ضریب دبی در محدوده آزمایش شده یعنی  $1 < H < 3$  ثابت نیست و با افزایش عمق آب، افزایش می‌یابد و همان‌طور که ملاحظه می‌شود، شیب منحنی در محدوده  $2 < H < 3$  کمتر شده و می‌توان با خطای حدود ۲٪ ضریب دبی را مقدار ثابت ۰/۶۰۵ در نظر گرفت (برای نمایش بهتر تغییرات، تعداد داده‌ها با استفاده از رابطه خطی به دست آمده در شکل ۴ توسعه داده شده است). لازم به ذکر است اگر سطح مبنای  $\lambda = 0.5d$ ، برای اندازه‌گیری عمق آب در نظر گرفته شود، مقدار و روند تغییرات ضریب دبی همانگونه که در شکل ۶ نشان داده شده، تغییر می‌کند و با یافته‌های اصلاحی و همکاران (۱۳۹۲) و کیان‌مهر و همکاران (۱۳۹۳) که نتیجه گرفتند ضریب دبی با افزایش عمق آب کاهش می‌یابد، مطابقت دارد و از آنجایی که در تحقیقات آن‌ها، تاج سرریز بالاتر از کف آبراهه نصب شده، مقدار بالآمدگی لبه سرریز از کف کانال، نقش سطح مبنای  $\lambda$  را در محاسبه ضریب دبی ایفا می‌کند. بنابراین وقتی سرریز بدون لبه<sup>۱</sup> نصب می‌شود، بهتر است از تصحیح عمق بر اساس سطح مینا اجتناب شود تا از تعداد پارامترهای مؤثر کاسته شود. در نتیجه می‌توان محدوده  $2 < H < 3$  را برای کارکرد دقیق سرریز پیشنهاد نمود.



عمودی کاهش می‌یابد. غفاری گوشه و همکاران (۱۳۹۷) نیز گزارش کردند که وقتی سرریز دودکشی به‌عنوان سرریز جانبی در یک کانال مستطیلی نصب شود، افزایش ارتفاع تاج سرریز از کف کانال (افزایش انقباض عمودی)، تأثیر کاهنده بر ضریب بده جریان دارد. نتایج تحقیق حاضر در شکل ۸ نیز نشان می‌دهد که در سرریز مورد مطالعه با افزایش مقدار انقباض جانبی، ضریب دبی کاهش می‌یابد ولی برای نسبت‌های انقباض جانبی بیشتر از ۷۰ درصد (بازشدگی عرضی کمتر از ۳۰ درصد) می‌توان ضریب دبی را ثابت در نظر گرفت.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق جریان آب عبوری از یک نمونه سرریز جذری (دودکشی) با نسبت‌های هندسی  $w/d=1.406$  و  $p/d=0.95$  و عرض ۲۰ سانتی‌متر در ۱۰ عرض مختلف کانال مستطیلی به صورت عددی شبیه‌سازی شده و پس از واسنجی مدل با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و اطمینان از درستی داده‌های مدل عددی، مقادیر عمق آب متناظر با هفت دبی عبوری در عرض‌های متفاوت کانال اندازه‌گیری شده و ضریب دبی مربوط به آن‌ها محاسبه شده و نتایج زیر به‌دست آمده است (عرض کانال مستطیلی از ۲۰ تا ۲۰۰ سانتی‌متر و نسبت‌های بازشدگی عرضی بین ۱۰ تا ۱۰۰ درصد انتخاب شده‌اند و آزمایشات در محدوده ارتفاعی از یک تا سه برابر ارتفاع پایه مثالی انجام شده است).

در همه نسبت‌های بازشدگی عرضی، ضریب دبی در محدوده آزمایش شده یعنی  $1 < H < 3$  ثابت نبوده و با افزایش عمق آب، افزایش می‌یابد این تغییرات در محدوده  $2 < H < 3$  کمتر شده و می‌توان با خطای حدود ۲٪ ضریب دبی را ثابت در نظر گرفت. همچنین اگر عمق آب از سطح مبنای  $\lambda = 0.5d$  اندازه‌گیری شود، مقدار ضریب دبی با افزایش عمق آب کاهش می‌یابد. بنابراین وقتی سرریز بدون لبه نصب می‌شود، بهتر است از تصحیح عمق بر اساس سطح مینا اجتناب شود تا از تعداد پارامترهای مؤثر کاسته شود.

با افزایش نسبت بازشدگی عرضی از ۱۰ تا ۱۰۰ درصد، مقدار ضریب دبی حدود ۸٪ افزایش می‌یابد. برای نسبت‌های بازشدگی عرضی کمتر از ۳۰ درصد (انقباض جانبی بیش از ۷۰ درصد)، متوسط ضریب دبی مقدار ثابت ۰/۶ به دست آمده و برای نسبت‌های عرضی بزرگ‌تر، به‌صورت یک تابع چندجمله‌ای درجه دوم تا مقدار حداکثر ۰/۶۵ افزایش می‌یابد.

از آن‌جایی که مقادیر استاندارد شده ضریب دبی برای نسبت بازشدگی کمتر از ۳۰ درصد توصیه شده‌اند (Bos, 1989)، در این تحقیق، ضریب تصحیح نسبت بازشدگی عرضی به صورت یک رابطه تجربی برای این نوع سرریز تعریف شده که با استفاده از آن می‌توان مقدار ضریب دبی را در نسبت‌های عرضی بزرگ‌تر به‌دست آورد.

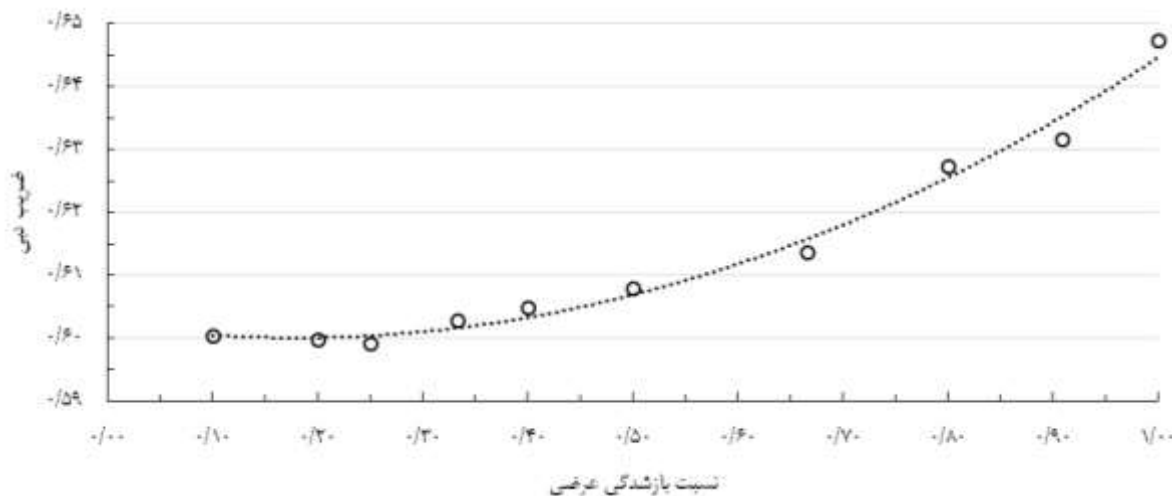
شدت تحت تأثیر نسبت بازشدگی عرضی قرار دارد. بنابراین در نسبت‌های بازشدگی کمتر از ۳۰ درصد، می‌توان ضریب دبی را مقدار ثابت ۰/۶ در نظر گرفت و برای نسبت‌های بزرگ‌تر، می‌توان مقدار ضریب دبی را با استفاده از رابطه ۱۰ و محاسبه ضریب تصحیح نسبت عرضی، به دست آورد.

مقدار ضریب دبی که توسط محققین مختلف گزارش شده، تقریباً همگی باهم اختلاف قابل توجهی دارند (کشاوا مورتی و پراکاش مقدار ۰/۶۱ (Keshava Murthy and Prakash, 1995)، اصلاحی و همکاران (۱۳۹۲) بین ۰/۶۵ تا ۰/۷۵، کیان‌مهر و همکاران (۱۳۹۳) بین ۰/۶۶ تا ۰/۸ را برای ضریب دبی سرریز دودکشی گزارش کرده‌اند). به‌نظر می‌رسد این اختلاف بیشتر به دلیل تفاوت در سطح مبنای اندازه‌گیری باشد هرچند که نحوه نصب سرریز، شکل کانال بالادست و مقدار انقباض عمودی و عرضی سرریز هم، موجب تغییر در شرایط جریان و سرعت آب در بالادست سرریز شده و در نتیجه، مقادیر متفاوتی برای ضریب دبی حاصل می‌شود. بنابراین برای استفاده از نتایج هر یک از تحقیقات انجام شده، لازمست شروط و محدودیت‌های ذکر شده در آن تحقیق رعایت شوند. در نتیجه به منظور کاهش خطا و افزایش کاربرد نتایج این تحقیق، میزان تغییر و افزایش ضریب دبی در نسبت‌های عرضی بزرگ‌تر از ۰/۳ در مقابل نسبت بازشدگی عرضی ( $W/B$ ) محاسبه شده و رابطه تجربی ۱۰ برای محاسبه ضریب تصحیح نسبت عرضی با ضریب همبستگی  $R^2 = 0.99$  پیشنهاد گردیده است.

$$C_S = 0.11\left(\frac{W}{B}\right)^2 - 0.04\left(\frac{W}{B}\right) + 1 \quad (10)$$

که در آن  $C_S$  و  $W$  و  $B$  به ترتیب ضریب تصحیح نسبت عرضی، عرض سرریز و عرض کانال بالادست هستند و ضریب دبی نهایی از حاصل ضرب این ضریب تصحیح در مقدار ۰/۶ به‌دست خواهد آمد.

تغییرات ضریب دبی نسبت به بازشدگی عرضی که در این تحقیق به‌دست آمده با یافته‌های بنکز و همکاران و سینگر و لیوایز مطابقت دارد، آن‌ها با آزمایشاتی که روی سرریزهای با رابطه‌ی خطی انجام دادند و با بررسی آزمایشاتی که در والینگفورد انجام شده بود نتیجه گرفتند که هرچه فشردگی مقطع سرریز بیشتر باشد ضریب دبی کاهش می‌یابد و ضریب دبی با افزایش عرض سازه زیاد می‌شود (Singer and Lewis, 1966, Banks et al., 1968). در یافته‌های اصلاحی و همکاران (۱۳۹۲) نیز مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار بالآمدگی تاج سرریز دودکشی از کف کانال که موجب افزایش انقباض عمودی می‌شود، از مقدار ضریب دبی کاسته می‌شود. همچنین دسینه و همکاران (۱۳۹۵) عوامل مؤثر بر ضریب دبی جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز - دریچه استوانه‌ای را با استفاده از نرم افزار Flow3D بررسی کرده و گزارش کردند که ضریب دبی با افزایش ارتفاع محل بازشدگی دریچه و افزایش میزان انقباض



شکل ۸- منحنی تغییرات ضریب دبی در مقابل نسبت بازشدگی عرضی در سرریز دودکشی

## سپاسگزاری

مقاله حاضر براساس نتایج حاصل از انجام رساله دکتری در گروه مهندسی آب دانشکده مهندسی زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری بوده و برای واسنجی مدل عددی مورد استفاده در این پژوهش از داده‌های اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی که توسط نویسنده اول و در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد در گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه انجام شده، استفاده شده است لذا به این‌وسيله از کلیه عزیزانی که در انجام این تحقیقات همکاری داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## منابع

اصلاحی، ن.، امیری تکلدانی، ا. و وطن‌خواه، ع. ۱۳۹۲. مطالعه آزمایشگاهی ضریب جریان سرریزهای تناسبی خطی و جذری در کانال‌های مستطیلی. نشریه هیدرولیک. ۴۰. ۸: ۴۳-۵۳.

جلالی، م. ۱۳۷۶. بررسی آزمایشگاهی تأثیر فشردگی جانبی بر روی ضریب دبی در سرریز کوآدراتیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد تأسیسات آبیاری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه.

دسینه، م.، دانشفرز، ر. و قادری، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی عوامل موثر بر ضریب دبی جریان عبوری از مدل ترکیبی سرریز - دریچه استوانه‌ای با استفاده از نرم افزار FLOW3D. اولین کنفرانس بین‌المللی آب محیط زیست و توسعه پایدار. مهرماه، دانشگاه محقق اردبیلی اردبیل.

غفاری گوشه، ج.، فتاحی نافچی، ر. و صمدی بروجنی، ح. ۱۳۹۷.

مطالعه استفاده از سرریز تناسبی دودکشی در آبیگر جانبی. دومین همایش ملی دانش و فناوری علوم کشاورزی منابع طبیعی و محیط زیست ایران، موسسه برگزار کننده همایش‌های توسعه محور دانش و فناوری سام ایرانیان، تهران.

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

Ackers, P., White, W.R., Perkins, J.A. and Harrison, A. J.M. 1989. Weirs and flumes for flow measurement. Hydraulic Research Station. Wallingford, USA.

Banks, W.H.H., Burch, C.R. and Shaw, T.L. 1968. The design of proportional and logarithmic thin-plate weirs. Journal of Hydraulic Research. 6.2:75-106.

Bos, M.G. 1989. Discharge measurement structures. Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI). Third Revised Edition. Wageningen, the Netherlands.

Baddour, R.E. 2008. Head-discharge equation for sharp-crested polynomial weir. Journal of Irrigation and Drainage Eng. 134.2:260-262.

French, R.H. 1985. Open Channel Hydraulics. McGraw Hill. New York, USA.

Haszpra, O. 1966. The problem of quadratic weir. Acta Technica. Budapest, Hungary. 4.1:121-132.

Keshava Murthy, K. and Gopalakrishna Pillai, K. 1978. Design of constant accuracy linear proportional weirs. Journal of Hydraulic Engineering Division. 104.4:527-541.

Keshava Murthy, K. and Gridhar, D.P. 1989. Inverted V-notch: A practical proportional weir. Journal of

- Ramamurthy, A.S., Subramanya, K. and Pani, B.S. 1977. Quadratic-plate weirs. *Journal of Hydraulic Engineering Division*. 103.12:1431-1441.
- Singer, J. and Lewis, D. C. G. 1966. Proportional-flow weirs for automatic sampling or dosing. *Journal of Water and wastewater Engineering*. 841.70:105-111.
- USBR. 1997. *Water measurement manual*. Third Ed. Denver, Colorado, USA.
- Vatankhah, A.R. 2012. Head-discharge equation for sharp-crested weir with piecewise-linear sides. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 138.11:1011-1018.
- Venkatarraman, P. and Subramanya, K. 1973. *Journal of A practical proportional weir*. *Water power*. 25.5:189-190.
- Irrigation and Drainage Engineering. 115.6:1035-1050.
- Keshava Murthy, K. and Gridhar, D.P. 1991. Geometrically simple linear weirs using circular quadrant-bell mouth weirs. *Journal of Hydraulic Research*. 29.4:497-509.
- Keshava Murthy, K. and Shisha Prakash, M.N. 1995. Alternative design of square-rooting measuring device in open channel. *Journal of Irrigation and Drainage Eng*. 121.6:374-377.
- Nistoran, D.E.G., Ionescu, C.S., Simionescu, S.M. and Opris, I. 2019. Design and Calibration of a Linear Proportional Weir for Flow Control Facilities. In: *Proceeding of International Conference on ENERGY and ENVIRONMENT (CIEM) 2019*. Oct., Timisoara, Romania. DOI: 10.1109/CIEM46456.2019.8937698.

## Affection of Side Contraction on Discharge Coefficient in Chimney Weir Using Numerical Simulation

M. Jalali<sup>1</sup>, R. Fazlola<sup>2\*</sup>, A. Emadi<sup>3</sup>

Received: May.03, 2020

Accepted: Jun.21, 2020

### Abstract

Quadratic weir is one of the unique types of available thin plate weirs that can be used for flow measuring in water transmission channels, irrigation networks and urban runoff networks because of its unique capabilities. In this research with the aim of investigation the effect of side contraction ratio on discharge coefficient of this weir, the flow through a quadratic proportional (chimney) weir in a rectangular channel with 10 bed widths and with side openness ratios of 10 to 100 percent, is simulated in 3D by ANSYS FLUENT software and has been calibrated using similar laboratory results. After measuring of water depth at the upstream channel for different passing discharges in each channel widths, The average of discharge coefficient in range of water depth between two and three times the height of triangle basin was calculated and results showed that in side openness ratio between 10 and 30%, the discharge coefficient value was 0.6 with no change, but with the increase in the cross-sectional openness ratio from 30% to 100%, the discharge coefficient increased and its final value in the 100% openness was 0.65. Finally an experimental relationship was proposed to correct the discharge coefficient based on the side openness ratio.

**Keywords:** Ansys fluent, Discharge coefficient correction, Quadratic proportional weir, Side contraction ratio

---

1- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

2- Associate Professor of Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

3- Associate Professor of Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University

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