

# بررسی آزمایشگاهی اثر تغییرات زبری و ارتفاع سرریز لبه پهن بر ضریب دبی جریان

ابراهیم نوحانی<sup>۱\*</sup>، امین محبی زاده<sup>۲</sup>

۱- استادیار گروه عمران- سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دزفول، ایران، nohani\_e@yahoo.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه عمران - سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، دزفول، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۰۵

## چکیده

در بسیاری از پروژه‌های تامین آب و انرژی، همچون سدها، رهاسازی یک دبی مشخص و ایجاد یک سازه برای تخلیه ی ظرفیت مازاد در مدت زمان معین، امری ضروری است. این وظیفه را سازه‌هایی به نام سرریز به عهده دارند. سرریزها آن‌چنان دارای پیچیدگی و تنوع هستند که بررسی و تحلیل پارامترهای هیدرولیکی آنها، بخصوص با استفاده از مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی، کاری بسیار مهم و مهندسی است. سرریزهای لبه پهن به علت اقتصادی بودن و سادگی در ساخت، به طور گسترده در سیستم‌های انتقال آب و به عنوان ابزاری برای اندازه گیری شدت جریان و کنترل تراز سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به کاربردهای فراوان سرریزهای لبه پهن، اگر ابعاد مقطع آن بهینه شود، منجر به اقتصادی شدن طرح گردد. در این تحقیق با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی مدل‌های مختلف بهینه ضریب دبی جریان آنها محاسبه گردید. همچنین با استفاده از مدل فیزیکی یک سرریز لبه پهن ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک و تغییر ارتفاع سرریز و نصب زبری روی سطح تاج و تغییرات ضریب دبی، عدد فرود، عمق آب بالادست و دیگر پارامترهای هیدرولیکی مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. تعداد کل آزمایشات انجام داده شده ۷۵ مورد بود و نتایج نشان داد که با افزایش زبری سطح تاج سرریز، ضریب دبی تا ۱۰ درصد کاهش پیدا می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** سرریز، ضریب دبی عبوری، زبری مصنوعی، ارتفاع، عدد فرود

## مقدمه

سرریز می‌باشد. درحقیقت اگر سرریز یک سد به درستی محاسبه و احداث گردد، مشکل ناپایداری سازه و بحث سیلاب در آن منطقه را نخواهیم داشت (کبیری سامانی و باقری، ۱۳۹۳). سرریز جریان را از زیر بحرانی به فوق بحرانی تبدیل می‌کند. بنابراین امکان فرسایش شدید آبی در پایانه سرریز محتمل بوده و لذا سازه‌های مستهلک کننده انرژی یکی از اجزاء جدانشدنی برای پایاب سرریز به حساب می‌آید. با توجه به حساس بودن کاری که سرریز انجام می‌دهد، باید سازه‌ای قوی، مطمئن و با راندمان بالا انتخاب شود که هر لحظه بتواند برای بهره برداری آمادگی داشته باشد

سرریزها از قدیمی‌ترین سازه‌های هیدرولیکی ساخته بشر هستند که در ابعاد، اشکال و کاربردهای متفاوت جهت اندازه‌گیری و کنترل دبی و تنظیم سطح آب، در سامانه‌های آبیاری استفاده می‌شوند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۲). برای عبور آب‌های اضافی در سدهای انحرافی و سیلاب‌ها در سدهای مخزنی و تنظیمی از سراب به پایاب سدها از سازه‌ای به نام سرریز استفاده می‌شود. در حقیقت این نوع سازه، تخلیه کننده دریاچه سد در مواقع اضطراری می‌باشد. بنابراین مهمترین و حساس‌ترین بخش در سازه‌های آبی،

لبه پهن دریافتند که ضریب دبی جریان تابعی از نسبت بار استاتیکی آب روی سرریز به طول سرریز می باشد. رائو و شوکلا<sup>۲</sup> (۱۹۷۱) با انجام آزمایش‌هایی در محدوده وسیعی از پارامترهای طول سرریز، ارتفاع سرریز و بار استاتیکی آب روی سرریز، نمودارهایی برای تعیین ضریب دبی جریان ارائه نمودند. رانگا راجو و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۷۳) با فرض ایجاد جریان زیر بحرانی بر روی تاج سرریز توانستند ارتباطی بین ضریب دبی جریان و نسبت بار استاتیکی آب روی سرریز به ارتفاع سرریز برقرار نمایند. هاریسون<sup>۴</sup> (۱۹۶۷) نیز اثر انحنای لبه سرریز بر ضریب دبی جریان را مورد بررسی قرار داده و نتیجه گرفت که با افزایش شعاع انحنای لبه سرریز ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه پهن را ۰/۵۴ بدست آورد. سوامی<sup>۵</sup> (۱۹۸۸) با برآزش منحنی بر نتایج آزمایشگاهی رائو و مورالیدهار، معادله‌ای عمومی برای تعیین ضریب دبی جریان در سرریزهای لبه تیز و لبه پهن ارائه نمود. رامورسی و همکاران<sup>۶</sup> (۱۹۸۸) نیز با در نظر گرفتن توزیع فشار غیر هیدرواستاتیک و استفاده از معادله اندازه حرکت، معادله ای برای ضریب دبی جریان به دست آوردند. ایشان همچنین با انجام مطالعات آزمایشگاهی، خصوصیات جریان در سرریزهای لبه پهن با گوشه انحنادار را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که با افزایش انحنای لبه تاج سرریز، اثر عمق پایاب بر دبی جریان کمتر می

(ابریشمی و وهاب رجایی، ۱۳۸۹). متداول ترین نوع سرریزها، سرریزهای لبه پهن، لبه تیز، سرریزهای اوجی، سرریزهای استوانه‌ای، سرریزهای تاج دایره ای و... هستند، اما برتری سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای نسبت به بیشتر سازه‌های اندازه‌گیری و کنترل جریان آب، الگوی جریان ریزشی پایدار، راحتی عبور اجسام شناور از روی آنها، سادگی طراحی، زیاد بودن ضریب جریان، داشتن پایداری جریان، و از همه مهم‌تر قابلیت طراحی در مقیاس بزرگ و هزینه اجرا و بهره‌برداری کمتر می باشد. سرریزهای استوانه ای و تاج دایره ای برای اندازه گیری جریان مورد استفاده قرار میگیرند و کاربرد وسیعی در مهندسی هیدرولیک به عنوان سازه های تخلیه آب داشته و می‌توانند برای کنترل سطح آب در کانال‌ها و مخازن مورد استفاده قرار گیرند (بیگی پور و بینا، ۱۳۸۴). بازین ( ۱۸۹۸) تحقیقات ارزنده‌ای را روی سرریزهای مختلف در فرانسه انجام داد. بیشتر تحقیقات ایشان به خاطر دقت وی در مشاهدات روی سرریزهای لبه پهن مورد توجه سایر محققان قرار گرفت. کریگر<sup>۷</sup> (۱۹۱۷) برای توسعه پروفیل سرریز اوجی کارهای تحقیقاتی زیادی انجام نمود. او همچنین تحقیقاتی روی پروفیل های تاج دایره ای انجام داد که در طراحی سد پونت<sup>۸</sup> در فرانسه بکار برده شد. اسکاند و ساناس<sup>۹</sup> (۱۹۵۹) و روو و ایندلوکفر<sup>۱۰</sup> (۱۹۷۴) تاثیر هوادهی و عدم هوادهی را روی ضریب تخلیه سرریز مورد بررسی قرار دادند. گویندا رائو و مورالیدهار<sup>۱۱</sup> (۱۹۶۳) با انجام مطالعات گسترده بر روی سرریزهای

۱- Bazin

۲- Creager

۳- Pont

۴- Escande and Sananes

۵- Rouve and Indlekofer

۶- Govinda Rao and Muralidhar

۷- Rao and Shukla

۸- Ranga Raju et al.

۹- Harrison

۱۰- Swamee

۱۱- Ramamurthy et al.

شود. هگر و اشکلوات<sup>۱</sup> (۱۹۹۴) با انجام آزمایش هایی بر روی سرریز لبه پهن با مقطع مستطیلی، پروفیل سطح جریان روی تاج سرریز، توزیع فشار، ضریب دبی جریان و جدانشدگی جریان از لبه تاج سرریز را مورد بررسی قرار دادند. توزیع فشار بر روی تاج سرریز لبه پهن نشان می دهد که در فاصله ای برابر بار استاتیکی آب روی سرریز از لبه بالادست، فشار به بیشینه مقدار خود می رسد. دلیل این امر انحنای خطوط جریان بر روی تاج سرریز و برخورد جریان با سطح تاج بیان شده است. هر دو تحقیق نشان دادند که در شرایط بدون هوادهی جدانشدگی جریان بوجود نمی آید و ضریب تخلیه سرریز ۱۵ تا ۲۰ درصد افزایش می یابد. فریتز و هگر<sup>۲</sup> (۱۹۸۸) هیدرولیک سرریزهای لبه پهن با مقطع دوزنقه ای شکل با شیب بدنه بالادست و پائین دست ۱ قائم به ۲ افقی را در دو حالت جریان آزاد و مستغرق مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که ضریب دبی جریان در این نوع سرریز ۱۰ تا ۱۵ درصد از ضریب دبی جریان سرریز لبه پهن استاندارد بیشتر است. چانسن و مونتس<sup>۳</sup> (۱۹۹۸) تاثیر شرایط بالادست را بر روی خصوصیات جریان در روی سرریز تاج دایره ای در شرایط مختلف مورد بررسی قرار دادند. آنها دریافتند که شرایط جریان در بالادست روی خصوصیات جریان در روی تاج تاثیر می گذارد. در یک بار ثابت سرریزهای تاج دایره ای دارای ظرفیت تخلیه دبی بیشتری در مقایسه با سرریزهای لبه تیز و لبه پهن می باشد. نجم و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) از ترکیب یک سرریز لبه تیز مستطیلی و یک دریچه کشویی (سیستم سرریز-دریچه) برای جلوگیری از رسوبگذاری در

جلوی سرریز و نیز عبور آسان اجسام شناور استفاده کردند. این سیستم برای تخلیه سیلاب کارایی بهتری نسبت به کاربرد مجزای سرریز یا دریچه دارد. خاتسوریا<sup>۵</sup> (۲۰۰۵) پارامترهای موثر در عملکرد سرریزهای کنگره ای شامل نسبت هد بر ارتفاع سرریز، بزرگنمایی جریان، نسبت بزرگنمایی، زاویه دیواره هادی، نسبت ابعاد عمودی، تعداد سیکل ها، شکل مقطع تاج، شرایط جریان در کانال تقرب و کارایی را در کتابش ارائه نمود. پیراتیپان و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) نیز با بررسی آزمایشگاهی سرریز مثلثی ۶۰، ۹۰، ۱۲۰ و ۱۵۰ درجه، رابطه دقیقی برای محاسبه دبی جریان سرریز مرکب با زوایای راس مرکب مثلثی- مثلثی ارائه نمودند. جان و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۶) با انجام یک سری آزمایش، دبی جریان برای چهار نوع سرریز لبه تیز مرکب را اندازه گیری نمودند. در این آزمایش ها، از ترکیب سرریزهای مستطیلی-مستطیلی، مستطیلی-دوزنقه ای، مثلثی-مستطیلی و مثلثی-دوزنقه ای استفاده شده است. هیاوی و همکاران<sup>۸</sup> (۲۰۰۸) دریافتند که سرریزهای لبه تیز مثلثی اگرچه دبی جریان را با دقت خوبی اندازه گیری می کنند، اما فقط برای دبی های کم مناسب بوده و برای تخلیه دبی های بالا کارایی کمتری دارند. محمدی و همکاران<sup>۹</sup> (۲۰۱۰) دبی جریان در سرریزهای مرکب لبه تیز را به کمک شبکه های عصبی مصنوعی محاسبه نمودند. دقت این نتایج تقریباً معادل نتایج روابط تئوری سرریزهای لبه تیز ساده گزارش شده است.

۱- Hager and Schwalt

۲- Fritz and Hager

۳- Chanson and Montes

۴- Negm et al.

۵- Khatsuria

۶- Piratheepan et al.

۷- Jan et al.

۸- Hayawi et al.

۹- Mohamadi et al.

مختلف تایید شد و پارامترهای گودال آبستتگی به صورت نمودارهایی برحسب پارامترهای بدون بعد آورده شد. حسن زاده و ایقان و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هیدرولیکی سرریز نعل اسبی مدرن پرداختند. در پژوهش فوق با ساخت مدل فیزیکی سرریز نعل اسبی در ابعاد آزمایشگاهی به بررسی مشخصات هیدرولیکی سرریزهای نعل اسبی مدرن از جمله ضریب دبی، پروفیل جریان و دبی عبوری از سرریز بیرونی و داخلی پرداخته شد. نیک پیک و کاشفی پور (۱۳۹۵) تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل‌سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای نوک‌اردکی و مایل را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق فوق ضریب دبی جریان برای سرریزهای نوک‌اردکی و مایل برای سه زاویه مختلف و در سه ارتفاع تعیین و نتایج به‌دست آمده با ضریب دبی سرریز مستطیلی ساده مقایسه شد. در نهایت سه رابطه ریاضی برای این سه نوع سرریز ارائه گردید. نتایج تحقیق فوق نشان داد که کاهش در سرریزهای با زاویه بیشتر دارای شیب بیشتری می‌باشد به این معنی که سرریزهای نوک‌اردکی و مایل فقط برای ارتفاع آب کم در بالادست راندمان بالاتری دارند، در نتیجه می‌توانند دبی بیشتری را با ارتفاع کم آب بالادست عبور دهند. در زمینه تأثیر تغییرات زبری سطح و ارتفاع سرریزهای تاج پهن بر هیدرولیک جریان و ضریب دبی عبوری مطالعات کمی انجام شده است. این تحقیق بر روی یک مدل فیزیکی از سرریز لبه‌پهن با ارتفاع، طول و عرض ثابت ۲۵۰ و ۷۱۰ و ۳۰۴ میلی‌متر و برای چهار حالت زبری مصنوعی و یک حالت بدون زبری و به عنوان مدل شاهد و سه حالت تغییر ارتفاع سرریز انجام می‌گردد. از هر مدل و زبری چهار دبی متفاوت عبور داده شده می‌شود. اهداف تحقیق شامل بررسی تأثیر تغییرات زبری سطح تاج سرریز لبه‌پهن بر هیدرولیک جریان و ضریب دبی

کرکستون (۲۰۱۰) ضریب دبی سرریزهای کنگره‌ای را با استفاده از مدل فیزیکی بررسی نمود. پژوهش وی روی سرریز کنگره‌ای با زاویه هادی بین ۶ الی ۳۵ درجه و با تاج نیم دایره و ربع دایره انجام گرفت. کایا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۱) به بررسی آزمایشگاهی سرریزهای جانبی نیم بیضوی در پلان پرداختند. هدف آنها پژوهش بررسی آثار هیدرولیکی سرریز نیمه بیضوی به منظور افزایش ظرفیت تخلیه سرریزها بود. بیرامی و همکاران (۱۳۸۷) به طراحی مقاطع بهینه سرریزهای لبه‌پهن و تعیین ضریب دبی جریان پرداختند. نتایج حاصله نشان داد که معادله تحلیلی - تجربی ارائه شده ضریب دبی جریان را با دقت بالایی برآورد می‌نماید. عباسپور و همکاران (۱۳۹۲) به شبیه‌سازی عددی جریان روی سرریز لبه‌پهن مستطیلی با وجوه شیب دار بالادست و پایین دست با مدل Fluent پرداختند. نتایج بدست آمده از تحقیق فوق نشان داد که مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  استاندارد و روش جزء حجم سیال برای پیش‌بینی پروفیل سطح آب روی سرریزهای لبه‌پهن، بر آورد ضریب دبی و پروفیل‌های سرعت در فواصل مختلف روی تاج مناسب می‌باشد. ساکی و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی عملکرد هیدرولیکی نهر پایه‌دار گلوبند با مقطع سرریز لبه‌پهن با استفاده از نمونه‌ی شبیه‌سازی WIN-FLUME پرداختند. نتایج نشان دادند که شبیه‌یون - نهر پایه‌دار قابلیت طراحی، شبیه‌سازی و ارزیابی انواع سازه‌های نهر پایه‌دار گلوبند را داراست و جدول، منحنی و رابطه‌ی وابازی بده - مقیاس را استخراج و ارائه می‌دهد. سیفی و همکاران (۱۳۹۴) تأثیر شکل هندسی سرریز لبه‌پهن دو شبیه و طول کف بند بر ابعاد حفره آبستتگی در پایین دست را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق فوق، اثرات شکل سرریز لبه‌پهن دو شبیه در اعداد فرود مختلف بر روی آبستتگی در اعداد فرود ذره متفاوت بررسی شد. در تحقیق فوق وجود تشابه بین پروفیل‌های آبستتگی

۱- Crookston

۲- Kaya et al.

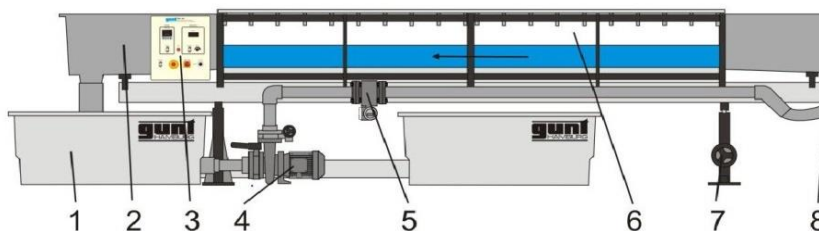
فوق و برخی وسایل اندازه گیری دیگر که بر حسب نیاز برای اندازه گیری، کنترل و کالیبره نمودن اطلاعات ( شامل عمق سنج، میکرو مولینه، لوله پیتوت و . . ) که از آنها به منظور مشاهده و ثبت نتایج شرایط هیدرولیکی استفاده خواهد شد. در تصاویر زیر پلان و نمای فلوم آزمایشگاهی ذکر شده آمده است. شکل (۱) پلان و نمای روبرو از فلوم ۷/۵ متری و شکل (۲) تصویری از فلوم ۷/۵ متری که در آزمایشگاه نصب و راه اندازی شده است را نشان می دهد.

جریان عبوری از آن و بررسی تأثیر عدد فرود و جریان بر ضریب دبی به ازای زبری های مختلف سطح سرریز تاج پهن می باشد.

### مواد و روش ها

#### معرفی مدل مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور انجام آزمایش ها از یک فلوم آزمایشگاهی با طول ۷/۵ متر، عرض ۳۰ سانتی متر و عمق ۴۵ سانتی متر با شیب متغیر و بدنه شیشه ای و یک سرریز لبه پهن با مشخصات ذکر شده



شکل ۱- پلان و نمای کلی اجزاء تشکیل دهنده فلوم؛ ۱- مخزن خروجی فلوم، ۲- کانال خروجی انتهای فلوم، ۳- کلیدهای روشن و خاموش پمپ، ۴- پمپ، ۵- دستگاه اندازه گیری دبی، ۶- کانال مستطیلی روباز شیشه ای، ۷- شیر تنظیم دبی، ۸- حوضچه آرام کننده ابتدای فلوم



شکل ۲- تصویری از بدنه فلوم ۷/۵ متری آزمایشگاه

$$Q = \frac{2}{3} L \times H^{\frac{3}{2}} \times \sqrt{\frac{2}{3}} \times g \times c_d \quad (1)$$

در این رابطه  $c_d$ : ضریب تخلیه،  $H$ : ارتفاع ریزشی سرریز لبه پهن،  $Q$ : دبی آزمایشگاهی که با استفاده از

### محاسبه جریان خروجی از سرریز لبه پهن

هر سرریز لبه پهن دارای یک مقدار بیشینه  $Q$  جهت تخلیه در رقوم های مختلف سطح آب می باشد که با رابطه زیر محاسبه می شود.

با توجه به سه بعد اصلی  $M$  و  $L$  و  $T$  سه متغیر  $P$  و  $V$  و  $H$  انتخاب می گردد. بنابراین با توجه به ۱۱ متغیر و سه بعد تعداد  $8 = 11 - 3$  پارامتر بدون بعد می توان استخراج نمود. پارامترهای بدون بعد استخراج شده در رابطه (۴) خلاصه شده اند. بنابراین ضریب دبی تابعی از شش پارامتر زیر است:

$$C_d = f\left(w_e, F_r, R_e, \frac{H}{P}, \frac{H}{L}, \frac{W}{H}, n\right) \quad (4)$$

در این تحقیق از عدد رینولدز به دلیل تلاطم زیاد و از اعداد وبر به دلیل حفظ ارتفاع آب کافی در پشت فلوم برای جلوگیری از کشش سطحی صرف نظر شده است. بنابراین پارامترهای موثر بر ضریب دبی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_d = f\left(F_r, \frac{H}{P}, \frac{H}{L}, \frac{H}{W}, n\right) \quad (5)$$

### بحث و نتایج

لازم به یادآوری است که آزمایشات برای چهار حالت مختلف زبری و یک حالت بدون زبری و دو حالت تغییر ارتفاع روی سرریز انجام می گردد. جدول (۱) مشخصات جریان جهت تعیین زبری را نشان می دهد.

جدول ۱- مشخصات جریان جهت تعیین زبری

$Q (m^3/s)$	S	Y(m)	b(m)	n
۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۳۱	۰/۰۰۶۷
۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۴۱	۰/۳۱	۰/۰۰۶۹
۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۴۲	۰/۳۱	۰/۰۰۷۲
۳۰	۰/۰۰۲	۰/۰۴۳	۰/۳۱	۰/۰۰۷۵

سرریز، ضریب دبی جریان کاهش می یابد. دلیل این کاهش افزایش مقاومت در مقابل عبور جریان و در نهایت کاهش دبی عبوری شده، به همین دلیل هر چه زبری افزایش پیدا کرده از میزان ضریب دبی کاسته شده است. مقایسه مقادیر  $C_d$  مشاهده می شود که

دبی سنج فلوم بدست می آید. به منظور استخراج رابطه فوق می توان معادله برنولی را میان ورودی مقطع آبگیری و نیز مقطع عرضی خروجی نوشت.

### تعیین ضریب تخلیه سرریز لبه پهن

به منظور محاسبه ضریب تخلیه سرریز لبه پهن می توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$C_d = \frac{Q}{LH^2} \quad (2)$$

### تحلیل ابعادی ضریب دبی در سرریزهای لبه پهن

برای بررسی آنالیز ابعادی ضریب دبی سرریزهای لبه پهن مستطیلی از روش باکینگهام استفاده می شود. پارامترهای موثر بر روی ضریب دبی سه دسته می باشند که شامل پارامترهای دینامیکی مؤثر؛  $p$ : جرم واحد حجم مایع،  $\mu$ : لزوجت دینامیکی،  $\sigma$ : کشش سطحی،  $g$ : شتاب ثقل، پارامترهای سینماتیکی مؤثر شامل؛  $Q$ : دبی جریان،  $v$ : سرعت متوسط جریان و  $H$ : عمق جریان و پارامترهای هندسی مؤثر؛  $L$ : طول سرریز،  $w$ : عرض سرریز،  $p$ : ارتفاع سرریز و  $n$ : زبری می باشد. بنابراین مقدار ضریب دبی به نه پارامتر زیر بستگی دارد:

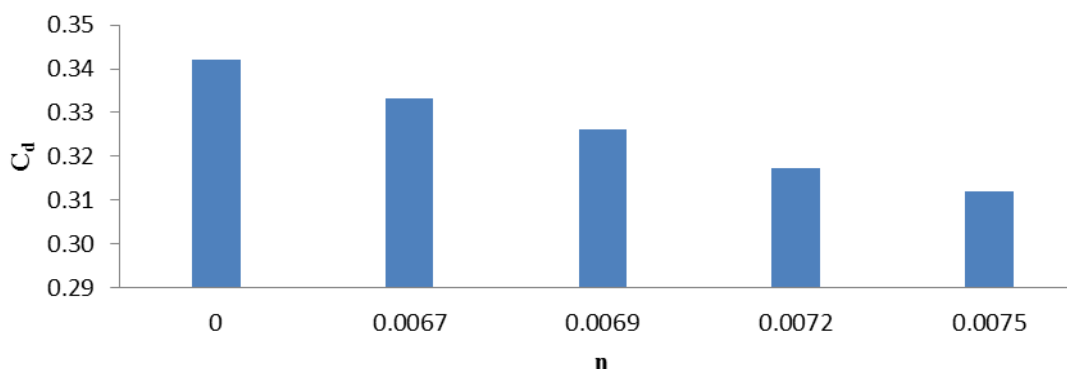
$$C_d = F(\rho, \mu, g, \sigma, V, H, L, p, w, n) \quad (3)$$

### بررسی تأثیر زبری بر ضریب دبی جریان

به منظور بررسی تأثیر زبری سطح سرریز بر ضریب دبی جریان منحنی های تغییرات ضریب دبی نسبت به تغییرات ضریب زبری مایننگ در شکل (۳) ترسیم شده است. به ازای دبی ثابت جریان با افزایش زبری سطح

باشد. بنابراین افزایش زبری بر روی سطح سرریز باعث کاهش ۱۰٪ ضریب دبی شده است.

بیشترین ضریب دبی برابر با ۰/۳۴۲ برای حالت بدون زبری و کمترین آن ۰/۳۱۲ برای زبری ۰/۰۰۷۵ می

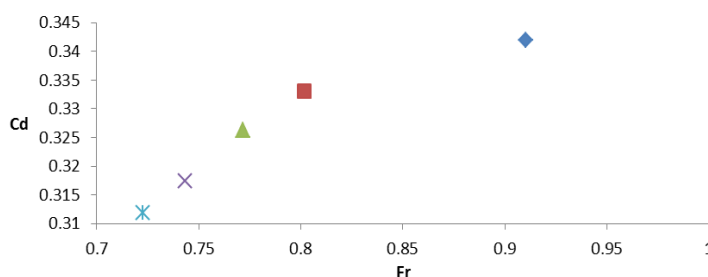


شکل ۳- تأثیر تغییرات زبری بر ضریب دبی جریان

۰/۰۰۷۶ (بیشترین زبری) اتفاق می افتد و میزان ضریب دبی متناظر آن برابر ۰/۳۱۲ می باشد. با مشاهده نمودار فوق و مقایسه مقادیر اعداد فرود و ضرایب دبی این گونه نتیجه می شود که افزایش زبری مستقل از میزان دبی علاوه بر کاهش میزان ضریب دبی منجر به کاهش عدد فرود نیز می شود. دلیل این کاهش تأثیر زبری بر کاهش میزان سرعت جریان می باشد.

#### بررسی تأثیر زبری بر عدد فرود جریان روی تاج سرریز

در شکل (۴) میانگین ضریب دبی برای ۵ مقدار دبی در مقابل میانگین عدد فرود روی تاج سرریز رسم شده است. بیشترین میزان عدد فرود برابر ۰/۹۲ می باشد که برای مدل بدون زبری اتفاق می افتد و میزان ضریب دبی متناظر آن ۰/۳۴۲ بوده و کمترین میزان عدد فرود برابر ۰/۷۶۵۷ است که برای حالت زبری

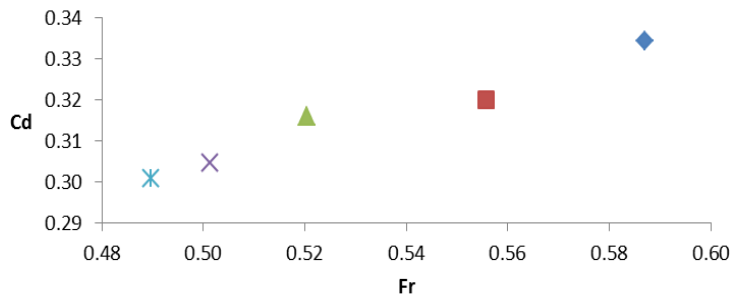


شکل ۴- نمودار تغییرات زبری بر عدد فرود و ضریب دبی

شکل می توان دریافت که با افزایش ارتفاع سرریز عدد فرود جریان و Cd کاسته شده و با افزایش زبری عدد فرود و Cd نیز کاهش می یابد.

#### تغییرات عدد فرود و ضریب دبی

شکل (۵) تغییرات عدد فرود و ضریب دبی برای حالات مختلف زبری را نشان می دهد. با توجه به این

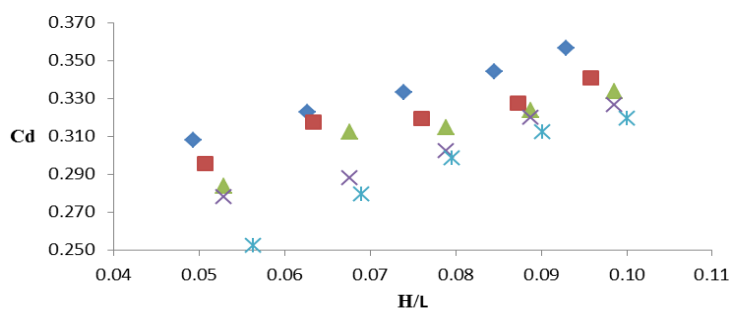


شکل ۵- نمودار تغییرات عدد فرود و ضریب دبی برای حالات مختلف زبری

افزایش زبری، کاهش سرعت را به دنبال داشته و بر اساس رابطه پیوستگی این کاهش سرعت با توجه به ثابت بودن مقدار دبی جریان در طول هر آزمایش باعث افزایش سطح شده و از آنجایی که عرض سرریز نیز در تمامی مراحل آزمایش ثابت می باشد، بنابراین این ارتفاع سطح آب بوده که دچار افزایش شده است. در شکل (۱۰) تغییرات ضریب دبی جریان در مقابل عمق نسبی جریان (عمق جریان به ارتفاع سرریز،  $\frac{H}{p}$ ) با تغییرات زبری سرریز را نشان می دهند. با توجه به شکل مذکور، با افزایش ارتفاع سرریز مستقل از زبری و عمق نسبی، میزان ضریب دبی تا ۱۵٪ کاهش می یابد.

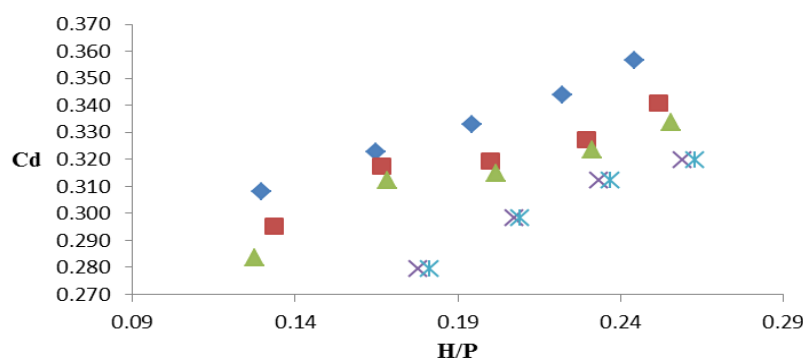
### بررسی تأثیر عوامل هندسی بر ضریب دبی

شکل (۹) تغییرات ضریب دبی جریان را در مقابل عمق نسبی (H/L) برای حالات مختلف زبری روی تاج سرریز نشان میدهد. با توجه به این شکل، با افزایش زبری علاوه بر کاهش ضریب دبی، افزایش ارتفاع سطح آب رخ می دهد به نحوی که مقدار عمق نسبی (H/L) در حالت بدون زبری به مقدار ۸/۵٪ نسب به حالتیکه بیشترین زبری را دارد افزایش می یابد. از آن جایی که L همان طول سرریز در طول آزمایشات مقداری ثابت می باشد بنابراین این افزایش مقدار عمق نسبی (H/L) تنها ناشی از افزایش ارتفاع سطح آب بوده که با استفاده از رابطه مانینگ و پیوستگی می توان این افزایش مقدار را توجیه کرد، به این گونه



شکل ۹- نمودار تغییرات Cd در مقابل (H/L) برای حالات مختلف زبری





شکل ۱۰- نمودار تغییرات Cd در مقابل (H/P) برای حالات مختلف زبری

### نتیجه گیری نهایی

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی اثر تغییرات زبری و ارتفاع سرریز لبه پهن بر ضریب دبی جریان و بررسی تأثیر تغییرات زبری سطح تاج سرریز لبه پهن بر هیدرولیک جریان و ضریب دبی جریان عبوری از آن پرداخته شد. خلاصه نتایج را می توان به شرح زیر خلاصه نمود: با توجه به نتایج بدست آمده از نمودارها مشاهده شد که افزایش زبری بر روی سرریز منجر به کاهش ضریب دبی در مدل بدون زبری شده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که افزایش زبری منجر به افزایش مقاومت در مقابل عبور جریان و در نهایت کاهش دبی عبوری شده به همین دلیل هر چه زبری افزایش پیدا کرده لذا از میزان ضریب دبی کاسته

خواهد شد. با توجه به نمودارهای رسم شده و مقایسه مقادیر اعداد فرود و ضرایب دبی می توان نتیجه گرفت که افزایش زبری علاوه بر کاهش میزان ضریب دبی منجر به کاهش عدد فرود نیز شده است. به طوری که بیشترین میزان عدد فرود برای مدل بدون زبری و کمترین میزان عدد فرود برای حالت بیشترین زبری اتفاق می افتد دلیل این کاهش تأثیر زبری بر کاهش میزان سرعت جریان می باشد همچنین نتایج نشان داد که با افزایش زبری سطح تاج سرریز، ضریب دبی تا ۱۰٪ کاهش و با افزایش ارتفاع سرریز مستقل از زبری و عمق نسبی، میزان ضریب دبی تا ۱۵٪ کاهش می یابد.

### منابع

- ۱- ابریشمی، ج. و وهاب رجایی، ن. ۱۳۸۹. سدهای بتنی: طرح و اجرا. انتشارات به نشر. تهران
- ۲- بیگی پور، غ. و بینا م. ۱۳۸۴. هیدرولیک جریان در سرریزهای تاج دایره ای و استوانه ای. پنجمین کنفرانس هیدرولیک. دانشگاه شهید باهنر. کرمان. صفحه های ۲۳۹-۲۴۵
- ۳- بیرامی، م. ک. دهقانی، ا. ا. و چمنی، م. ر. ۱۳۸۷. طراحی مقاطع بهینه سرریزهای لبه پهن و تعیین ضریب دبی جریان. فصلنامه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۶۳ (۲): ۱۵۲-۱۳۸
- ۴- حسن زاده وایقان، و. محمدی، م. ع. سلماسی، ف. حسین زاده دلیر، ع. و مناف پور، م. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی پارامترهای هیدرولیکی سرریز نعل اسبی مدرن. فصلنامه پژوهشی عمران تربیت مدرس تهران. ۱۶ (۴): ۹۳-۸۳
- ۵- ساکی، م. ج. واصلی، ن. و طالب بیدختی، ن. ۱۳۹۲. ارزیابی عملکرد هیدرولیکی نهر پایه دار گلوبند با مقطع سرریز لبه پهن با استفاده از نمونه ی شبیه ساز WIN-FLUME. فصلنامه مهندسی منابع آب. شهرکرد. ۱۷ (۲): ۸۹-

- ۶- سیفی، ا. حسین زاده دلیر، ع. و فرسادی زاده، د. ۱۳۹۴. تاثیر شکل هندسی سرریز لبه پهن دوشیبه و طول کف بند بر ابعاد حفرة آبستگى در پایین دست فصلنامه دانش آب و خاک تبریز. ۲۵(۳): ۳۹-۵۱
- ۷- عباسپور، ا. عبدالله پور، م. و سلماسی، ف. ۱۳۹۲. شبیه سازی عددی جریان روی سرریز لبه پهن مستطیلی با وجوه شیب دار بالادست و پایین دست با مدل فلوئنت. فصلنامه دانش آب و خاک. ۲۳(۴): ۲۶۵-۲۷۶
- ۸- کبیری سامانی، ع.ر. و باقری، س. ۱۳۹۳. طراحی کانال ها و سازه های انتقال آب. انتشارات ارکان دانش. اصفهان
- ۹- مقصودی، ر. رحیم زاده، ح. و سرکرده، ح. ۱۳۹۲. طراحی شبکه های انتقال آب. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران

- ۱۰- نیک پیک، پ. و کاشفی پور، س.م. ۱۳۹۵. تأثیر شرایط هیدرولیکی و هندسه سرریز در مدل سازی ریاضی ضریب دبی سرریزهای نوک اردکی و مایل. فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری شهید چمران اهواز. ۳۹(۱): ۱-۱۰
- 11-Bazin, H. 1898. Experiences Nouvelles sur l'Écoulement par Déversoir ('Recent Experiments on the Flow of Water over Weirs.'). Mémoires et Documents, Annales des Ponts et Chaussées, Paris, France. Sér 7, 15: 151-264
- 12-Chanson, H. and JS. Montes 1998. Overflow characteristics of circular weir. Journal of Irrigation & Drainage Engineering, ASCE 124(3):152-162.
- 13-Creager, WP. 1917. Engineering of Masonry Dams. John Wiley & Sons, New York, USA.
- 14-Crookston, B.M. 2010. Labyrinth Weirs, PH.D thesis, Utah State University, Logan, Utah, PP.156162
- 15-Escande, L. and F. Sananes .1959. Etudes des Seuils Déversants à Fente Aspiratrice. Pp: 892-902('Weirs with Suction Slots.'). JI La Houille Blanche, Dec., No. Special B, (in French).
- 16-Fritz, H.M. and W.H. Hager.1988. Hydraulic of embankment weir. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 124(9): 963-971
- 17-Govinda Rao, N.S. and D. Muralidhar.1963. Discharge characteristics of weirs of finite element width, La Houille Blanche(5). Pp. 537-545
- 18-Hager, W.H. and M. Schwalt. 1994. Broad-crested Weir, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120(1), 13-26.
- 19-Harrison, A.J.M. 1967. The streamlined broad-crested weir, Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 38, 657-78.
- 20-Hayawi, H.A., Yahia, A.A. and G.A. Hayawi. 2008. Free combined flow over a triangular weir and under rectangular gate. Damascus University. J., 24:1:9:22.
- 21-Jan, C.D. Chang, C.D. and M.H. Lee. 2006. Discussion of Design and calibration of a compound sharp-crested weir. J. Hydraulic. Engineering. 132:8: 868-872.
- 22-Kaya, N. Emiroglu, M.E. and H. Agaccioglu, 2011. Discharge coefficient of a semielliptical side weir in subcritical flow, Journal of Flow Measurement and Instrumentation 22, pp: 25-32.
- 23-Khatsuria, R.M. 2005. Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators, Marcel Dekker ,PP.197-216.
- 24-Mohamadi, K. Roshani, M. and A. Hoseinzadeh. 2010. Prediction and comparison of flow discharges in compound sharp-crested weirs using theoretic formulas and artificial neural networks, 9th Iranian Hydraulic Conference, Tarbiat Modares University, Tehran.
- 25-Negm, A.M. Al-Brahim, A.M. and AA. Alhamid. 2002. Combined-free flow over weirs and below gates. Journal of Hydraulic. Res., 40:3:359-365.
- 26-Piratheepan, M. Winston, N.E.F. and K.P.P Pathirana. 2006. Discharge measurements in open channels using compound sharp-crested weirs. Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka, 3: 31-38.

- 27-Ramamurthy, A.S. Tim, U.S. and , M.V.J. Rio. 1988. Characteristics of Square-Edged and Round- Nosed Broad-Crested Weirs, Journal of Irrigation and Drainage Engineering., ASCE, Vol.99, No.2, PP.61-73.
- 28-Ranga Raju, K.G. Shasrabudhe, S.j. and E. Ihsan. 1972. Discussion of Rao & Shukla. Journal of the Hydraulics Division. ASCE, 121: 2224-2231
- 29-RAO S.S. and M.K. SHUKLA. 1971. Characteristics of flow over weirs of finite crest width. Journal of the Hydraulics Division. American Society Civil Engineering., 97-11, 1807-1816
- 30-Rouve, G. and H. Indlekofer . 1974. Abfluss über geradlinige Wehre mit halbkreisformigem Überfallprofil. ('Discharge over Straight Weirs with Semicylindrical Crest.'). Der Bauingenieur 49(7): 250-256 (in German).
- 31-Swamee, P.K. 1988 . Generalized Rectangular Weir Equations. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114(8).