

## بررسی ضریب دبی در سرریز تاج دایره‌ای با استفاده از مدل سازی عددی

الهام ایزدینیا<sup>1\*</sup>، نسیم ریسمانی<sup>2</sup>، عبدالرضا کبیری سامانی<sup>3</sup>

1- استادیار، گروه عمران، دانشگاه غیرانتفاعی شهید اشرفی اصفهانی

2- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، گروه عمران، دانشگاه غیرانتفاعی شهید اشرفی اصفهانی

3- دانشیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

\* Izadinia@ashrafi.ac.ir

**چکیده** - سرریزهای استوانه‌ای و سرریزهای تاج دایره‌ای به دلیل اقتصادی بودن و سهولت ساخت در مقایسه با سایر سرریزها می‌توانند برای اندازه‌گیری شدت جریان، ساختمان‌های تخلیه جریان آب و کنترل سطح آب در کانال‌ها و مخازن مورد استفاده قرار گیرند. در تحقیق حاضر وضعیت جریان روی 28 مدل فیزیکی سرریز تاج دایره‌ای با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی شد و با نتایج مدل‌های آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفت. در این مطالعه تأثیر پارامترهای شعاع، ارتفاع، شیب بالادست، شیب پایین‌دست و کمان تاج در بالادست سرریز بر ضریب دبی جریان بررسی شد. شبیه‌سازی در نرم‌افزار فلوئنت با استفاده از مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  و مدل چندفازی VOF انجام گرفت. از مقایسه نتایج مدل شبیه‌سازی شده با نتایج آزمایشگاهی مشخص گردید مقدار NRMSE برای مدل‌های مورد بررسی برابر با 7/7 درصد و خطای نسبی برابر با 4/6 درصد است بنابراین فلوئنت با دقت مناسبی قادر به شبیه‌سازی جریان می‌باشد. پس از اطمینان از دقت نتایج، دامنه داده‌های آزمایشگاهی افزایش داده شد و نتایج قابل توجهی نسبت به مطالعه آزمایشگاهی حاصل گردید. نتایج نشان داد که با افزایش بار کل آب در بالادست، به ترتیب برای سرریزهای استوانه‌ای، نیم‌استوانه‌ای و ربع‌استوانه‌ای تا مقدار 2، 1/3 و 0/96 ضریب دبی روند افزایشی و پس از آن روند کاهشی دارد. افزایش ارتفاع سرریز باعث افزایش ضریب دبی جریان گردید، در حالیکه تغییرات کمان تاج تأثیری بر ضریب دبی نداشت. همچنین ضریب دبی در  $H_1/R$  ثابت برای سرریزهای استوانه‌ای بیشترین مقدار ( $C_d=0/915$ ) و برای سرریزهای ربع‌استوانه‌ای کمترین مقدار ( $C_d=0/851$ ) را دارد.

**کلید واژگان:** سرریز تاج دایره‌ای، استوانه‌ای، نیم‌استوانه‌ای، ربع‌استوانه‌ای، ضریب دبی، فلوئنت.

### 1- مقدمه

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 است. (بیگی‌پور و بینا، 1384).

شکل سرریز تاج دایره‌ای، شامل یک تاج دایره‌ای شکل با شعاع  $R$  و ارتفاع  $h$  است و زوایای دیواره‌های بالادست و پایین‌دست آن به ترتیب برابر  $\alpha$  و  $\beta$  است (حیدرپور و

سرریزهای تاج دایره‌ای از سرریزهایی هستند که در شبکه‌های آبیاری، آبرسانی و فاضلاب، برای انتقال، تخلیه و یا پخش کاربرد زیادی دارند، از جمله سازه‌های مرتبط با آن‌ها سدهای لاستیکی و دریچه‌های سیلندری را می‌توان یادآور شد (بریشمی و حسینی، 1373).

برتری سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای نسبت به بیشتر سازه‌های اندازه‌گیری و کنترل جریان آب، الگوی جریان

جداشدگی جریان بوجود نمی‌آید و ضریب تخلیه سرریز 15 تا 20 درصد افزایش می‌یابد. (Bos (1978) از داده‌های موجود استفاده کرد و رابطه بین ضریب دبی و  $H_1/R$  را در سرریزهای تاج دایره‌ای به دست آورد. Ramamurthy and Vo (1993) تأثیر تغییرات شیب بالادست و پایین دست بر ضریب دبی را مورد مطالعه قرار دادند. حیدرپور و همکاران (1380) خصوصیات هیدرولیکی، مانند ضریب دبی، عمق روی تاج و افت انرژی را در سرریزهای تاج دایره‌ای مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش نشان داد که در سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای با افزایش بار آبی، ضریب دبی افزایش می‌یابد و افت انرژی در سرریزهای استوانه‌ای بیشتر از تاج دایره‌ای است. فرسادی زاده و همکاران (1387) با کمک مدل عددی فلوئنت جریان عبوری از روی سرریز استوانه‌ای را شبیه‌سازی نمودند و اثر بار هیدرولیکی را بر ضریب تخلیه جریان بررسی کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که با افزایش نسبت بار هیدرولیکی، ضریب دبی جریان نیز افزایش پیدا می‌کند و نتایج آزمایشگاهی و عددی با هم تطابق مناسبی دارند. باقری و حیدرپور (1388) به کاربرد معادلات اولر در تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای پرداختند. اسماعیلی و همکاران (1389) با آزمایش روی مدل‌های مختلف سرریز استوانه‌ای، مقادیر فشار و سرعت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه را با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل فلوئنت مقایسه کردند. قبادیان و همکاران (1391) تأثیر زبری تاج و بدنه سرریز بر روی ضریب تخلیه سرریز را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در شرایط بدون زبری، بیشترین عامل تأثیرگذار بر ضریب تخلیه، نسبت بار آبی بالادست به شعاع سرریز می‌باشد. آن‌ها همچنین به این نتیجه رسیدند که با افزایش زبری نسبی سرریز، ضریب تخلیه جریان کاهش می‌یابد.

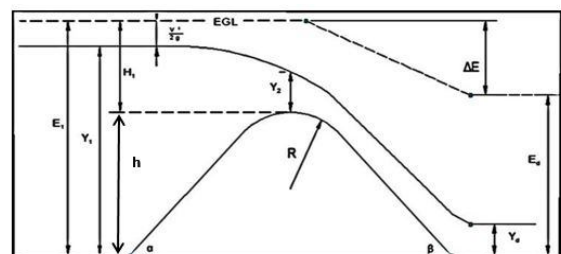
بررسی‌ها حاکی از آن است که در مورد سرریزهای تاج دایره‌ای، مدل‌های آزمایشگاهی بیش‌تر مورد توجه بوده است و در مورد مدل‌سازی عددی سرریزهای تاج دایره‌ای در گذشته تحقیق جامعی به عمل نیامده است. از این رو در تحقیق حاضر، هدف بررسی شرایط هیدرولیکی جریان با استفاده از مدل‌سازی عددی می‌باشد. برای این منظور با

همکاران، 1384). با توجه به شکل 1، معادله دبی در واحد عرض برای سرریز به صورت معادله (1) نوشته می‌شود (حیدرپور و همکاران، 1384):

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} H_1^{1.5} \quad (1)$$

که در آن  $q$  دبی در واحد عرض تاج،  $g$  شتاب ثقل،  $H_1$  بار آبی کل اندازه‌گیری شده از سطح تاج سرریز و  $C_d$  ضریب دبی است که با اندازه‌گیری مستقیم دبی عبوری از روی سرریز، با استفاده از رابطه‌ی (1) قابل محاسبه است (Cassidy, 1965؛ اسماعیلی و همکاران، 1389؛ Chanson, 1996). مطالعات نشان می‌دهد که تحذب دیواره سرریز و تغییر در میدان فشار باعث کاهش فشار در سطح سرریز شده، که این امر موجب چسبندگی تیغه ریزشی جریان روی سرریز می‌شود. این شرایط باعث می‌گردد تا خطوط جریان با انحنای بیشتر و جریان با سرعت بالاتری شکل گرفته و در نتیجه ضریب دبی نسبت به سرریزهای لبه تیز و لبه پهن افزایش یابد (حیدرپور و همکاران، 1385؛ Ramamurthy and Vo, 1993).

عمده تحقیقات انجام شده روی سرریزهای تاج دایره‌ای شامل کارهای (Rehbock (1929)، Fawer (1937) و Sarginson (1972) می‌باشد. این تحقیقات نشان دادند که ضریب تخلیه  $C_d$  نزدیک به یک و معمولاً بزرگتر از یک می‌باشد. (Escande and Sananes (1959) ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای با شیب بالادست قائم و شیب پایین دست 45 درجه، همچنین Rouve and Indlekofer (1974) تأثیر هواده‌ی و عدم هواده‌ی را روی ضریب تخلیه سرریز مورد بررسی قرار دادند.



شکل 1 مشخصات هیدرولیکی و هندسی سرریز تاج دایره‌ای

هر دو تحقیق نشان دادند که در شرایط بدون هواده‌ی،

سرریزها، مقدار ضریب دبی به وسیله آزمایش‌های تجربی اندازه‌گیری شده و بوسیله آنالیز ابعادی روابط موجود بین پارامترها تعیین می‌گردند. با بکارگیری آنالیز ابعادی ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای را می‌توان به صورت رابطه (2) بیان نمود (خرمی، 1379):

$$C_d = \frac{q}{\frac{2}{3}\sqrt{2gH_1^{1.5}}} = f\left(\frac{H_1}{R}\right) \quad (2)$$

### 2-3- نرم‌افزار فلوئنت<sup>1</sup>

نرم‌افزار فلوئنت از روش‌های شبیه‌سازی کامپیوتری برای تحلیل مسائل طراحی عملی استفاده می‌کند که مبتنی بر اصول اساسی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)<sup>2</sup> مانند بقای جرم، ممنتوم و انرژی می‌باشد. این نرم‌افزار با زبان C نوشته شده و از معادلات ناویر استوکس با روش میانگین‌گیری رینولدز (RANS)<sup>3</sup> در تحلیل جریان استفاده می‌کند. برای منفصل‌سازی این معادلات از روش حجم محدود استفاده می‌شود. در این مدل‌سازی ابتدا برای ترسیم سازه و شبکه‌بندی از یک نرم‌افزار پیش‌پردازنده مانند گمبیت<sup>4</sup> استفاده می‌شود. در این تحقیق برای شبکه‌بندی از سلول چهارگوش از نوع pave استفاده گردید. سه مدل با تعداد المان تقریبی 60000، 23000 و 9000 اجرا شد، که با توجه به نتایج بدست آمده برای مدل‌های 60000 و 23000 اختلاف محسوسی مشاهده نشد، ولی با کاهش المان‌ها به اندازه 9000 مشخص شد که خطا نسبت به مدل فیزیکی افزایش پیدا می‌کند. با توجه به افزایش یافتن زمان همگرا شدن در المان‌های بالا، در این مدل‌سازی از شبکه‌ای با تقریباً 23000 سلول استفاده گردید. در مرحله بعدی از محیط دوبعدی فلوئنت برای خواندن شبکه و بررسی و ارزیابی آن استفاده شد. طرح شبکه محدوده‌ی محاسباتی سرریز استوانه‌ای برای نمونه در شکل 2 نشان داده شده است.

برای تعیین مقادیر تنش‌های رینولدز از مدل‌های آشفتگی متفاوتی استفاده می‌گردد. مدل k-ε یکی از قویترین مدل‌های مغشوش محسوب می‌شود که از دقت مناسبی

استفاده از اطلاعات موجود از مدل‌های آزمایشگاهی ابتدا دقت نرم‌افزار در شبیه‌سازی جریان مورد ارزیابی قرار گرفت، سپس تأثیر پارامترهای شعاع، ارتفاع، شیب بالادست، شیب پایین‌دست و کمان تاج در بالادست سرریز بر ضریب دبی در دامنه وسیع‌تری از مشخصات هیدرولیکی جریان نسبت به شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

### 2- مواد و روش‌ها

#### 2-1- مدل‌های مورد بررسی

در تحقیق حاضر از اطلاعات موجود آزمایشگاهی 28 مدل سرریز استوانه‌ای و تاج دایره‌ای برای شبیه‌سازی جریان با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت استفاده گردید. این مدل‌ها در 7 گروه دسته‌بندی گردید که در جدول 1 نشان داده شده است. در هر گروه یک پارامتر متغیر می‌باشد (خرمی، 1379). برای اطمینان از دقت نرم‌افزار فلوئنت در شبیه‌سازی جریان اطراف این نوع از سرریزها، نتایج حاصل از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی در دامنه مشترک داده‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. پس از حصول اطمینان از دقت مدل فلوئنت در شبیه‌سازی، تأثیر هر یک از پارامترها بر ضریب دبی در دامنه وسیع‌تری نسبت به مدل آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول 1 پارامتر متغیر در هر گروه

گروه	تعداد مدل‌ها	شکل تاج	عامل متغیر
گروه A	4	استوانه	شعاع - متر (3/26 و 4/6، 6/3، 8/1)
گروه B	4	نیم استوانه	شعاع - متر (3/26 و 4/6، 6/3، 8/1)
گروه C	4	ربع استوانه	شعاع - متر (3/26 و 4/6، 6/3، 8/1)
گروه D	4	دایره	ارتفاع - متر (6/45 و 12/5، 15/67، 18/7)
گروه E	4	نیم دایره	شیب بالادست - درجه (90 و 60، 45، 30)
گروه F	3	ربع دایره	شیب پایین دست - درجه (60 و 45، 30)
گروه G	5	مقطعی از دایره کمان تاج در بالادست	درجه (90 و 60، 45، 30، 0)

#### 2-2- آنالیز ابعادی

ضریب دبی روی هر سرریز متفاوت می‌باشد و به پارامترهای هندسی سرریز بستگی دارد. به دلیل پیچیدگی‌های هیدرولیکی موجود در رفتار آب در عبور از

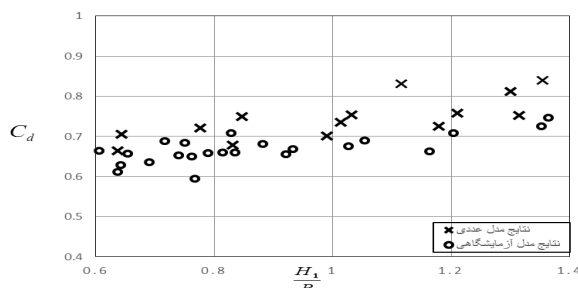
1. Fluent  
2. Computational Fluid Dynamics  
3. Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations  
4. Gambit

نسبت به مدل آزمایشگاهی از رابطه (4) استفاده گردید (هوشیار و همکاران، 1391):

$$\Delta = \left| \frac{\sum (X_i - Y_i)}{\sum Y_i} \right| \times 100 \quad (4)$$

در روابط بالا،  $X_i$  و  $Y_i$  به ترتیب  $i$  امین داده برآوردی و اندازه‌گیری،  $\bar{Y}$  متوسط داده  $Y_i$ ، و  $n$  تعداد نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشد.

شکل 3 رابطه بین ضریب دبی با بار کل ( $H_1/R$ ) را برای سرریزهای استوانه‌ای (گروه A) نشان می‌دهد. در مدل‌سازی عددی همان‌گونه که مشخص است در محدوده  $H_1/R$  مشترک با مدل‌سازی آزمایشگاهی، ضریب دبی مشابه با نتایج آزمایشگاهی روند صعودی دارد. همچنین مقدار NRMSE برابر با 7/7 درصد و خطای نسبی برابر با 4/6 درصد می‌باشد. با توجه به اینکه میزان خطا کمتر از 10 درصد است، گویای دقیق بودن مدل‌سازی عددی در محاسبه ضریب دبی می‌باشد.

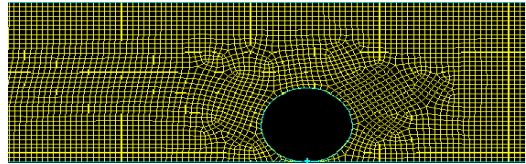


شکل 3 مقایسه تغییرات  $C_d$  با  $H_1/R$  برای سرریز استوانه‌ای در مدل‌های عددی و آزمایشگاهی

### 3-2- ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای، نیم استوانه‌ای و ربع استوانه‌ای

شکل 4 رابطه‌ی بین ضریب دبی با بار کل ( $H_1/R$ ) را برای سرریزهای استوانه‌ای، نیم و ربع استوانه‌ای نشان می‌دهد. شکل مذکور نشان می‌دهد که با افزایش نسبت  $H_1/R$  در محدوده  $H_1/R < 2$ ، مقدار ضریب دبی در سرریزهای استوانه‌ای از 0/664 تا 0/915 افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان به این صورت بیان کرد که هر چه  $H_1/R$  به 2 نزدیک می‌گردد، تیغه ریزش جریان به سطح بدنه سرریز چسبیده و انحناى جریان سبب افزایش  $C_d$  می‌گردد.

نیز برخوردار بوده، همچنین در تحقیقات مشابه نتایج قابل قبولی داشته است و در این تحقیق نیز استفاده گردید.



شکل 2 مش بندی اطراف سرریز در نرم‌افزار گمبیت

در نرم‌افزار فلونت سه مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  وجود دارد: 1. مدل  $k-\epsilon$  استاندارد<sup>1</sup>، 2. مدل  $k-\epsilon$  حالت RNG<sup>2</sup>، 3. مدل  $k-\epsilon$  محسوس<sup>3</sup>. تفاوت این مدل‌ها در فرضیات در نظر گرفته شده برای محاسبه  $k$  و  $\epsilon$  می‌باشد. بطور کلی مدل RNG نسبت به سایر مدل‌ها کاربرد وسیع‌تری دارد. اما از آنجا که در تحقیق حاضر گرادیان فشار بین سلول‌های مجاور شدید نیست، در این تحقیق از روش  $k-\epsilon$  استاندارد استفاده گردید.

در کنار معادلات پیوستگی و مومنتم، معادله سطح آزاد جریان وجود دارد. مدل VOF<sup>4</sup> برای دو سیال مخلوط نشدنی و به منظور تعیین فصل مشترک آن‌ها مناسب است. در این مقاله از طرح Upwind مرتبه یک برای گسسته‌سازی استفاده گردید (وکیلی، 1391).

### 3- نتایج و بحث

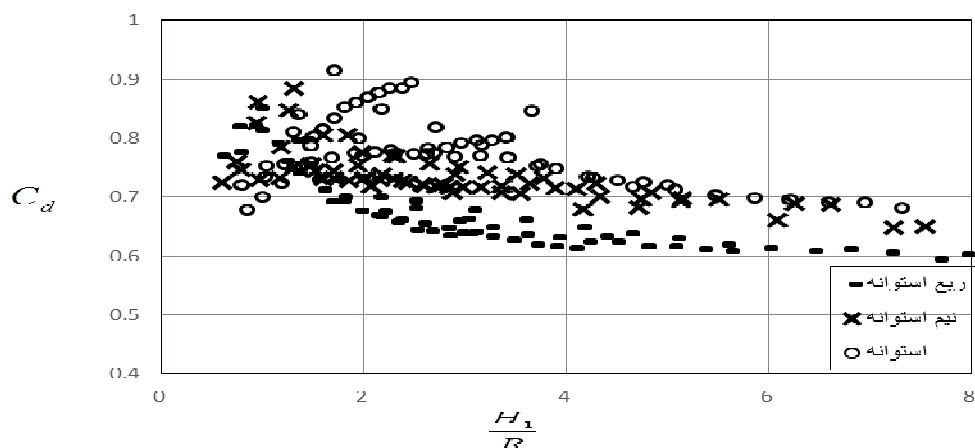
#### 3-1- صحت‌سنجی نتایج مدل‌سازی عددی

خطا عبارت است از تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار محاسبه شده. در این تحقیق نتایج حاصل با معیارهای نرمال میانگین مجذور مربعات خطا<sup>5</sup> در قالب رابطه (3) مورد سنجش قرار گرفت (حدادیان سنو و همکاران، 1394):

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n \bar{Y}}} \quad (3)$$

همچنین به منظور محاسبه درصد خطای مدل فلونت

1. Standard  $K-\epsilon$  model
2. RNG  $K-\epsilon$  model
3. Realizable  $K-\epsilon$  model
4. Volume of fluid
5. Normal Root Mean Square Error

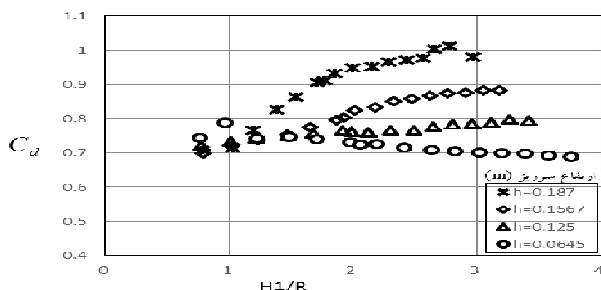


شکل 4 ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای، نیم‌استوانه‌ای و ربع‌استوانه‌ای

استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای، به علت منحنی بودن دیواره بالادست، جمع شدن تدریجی خطوط جریان باعث کاهش مقاومت در برابر جریان و افزایش ضریب دبی می‌گردد. ولی در سرریز ربع‌استوانه‌ای، دیواره قائم در قسمت ورودی سبب جمع‌شدگی سریع خطوط جریان شده و در نتیجه باعث افزایش مقاومت در برابر جریان و کاهش ضریب دبی نسبت به سرریز استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای می‌گردد.

### 3-3- تاثیر ارتفاع سرریز بر ضریب دبی

شکل 5 نشان دهنده رابطه بین ضریب دبی و  $H_1/R$  برای ارتفاع‌های مختلف سرریز برای گروه D (شکل تاج دایره‌ای) در مدل عددی می‌باشد. همان‌گونه که از شکل مشخص است در یک  $H_1/R$  ثابت، با افزایش ارتفاع سرریز، ضریب دبی افزایش می‌یابد.



شکل 5 تغییرات  $C_d$  با  $H_1/R$  برای ارتفاع‌های مختلف

از مقایسه نتایج این گروه از سرریزها با سرریزهای استوانه‌ای، نیم‌استوانه‌ای و ربع‌استوانه‌ای مشخص گردید

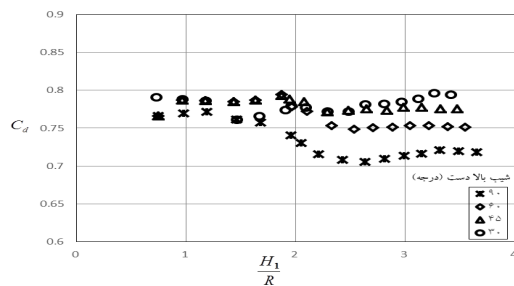
در  $H_1/R$  بیش از 2 انحناى جریان قابل ملاحظه نبوده و سبب کاهش ضریب دبی جریان می‌شود. با افزایش  $H_1/R$  بیش از 2، ابتدا ضریب دبی با شیب کم‌تری افزایش می‌یابد، سپس روند عکس می‌گردد که نشان می‌دهد با افزایش  $H_1/R$  اثر انحناى سرریز بر مقدار جریان عبوری از سرریز کاهش می‌یابد. علت کاهش مقادیر ضریب دبی در سرریز استوانه‌ای تغییرات شعاع در این سرریزها می‌باشد. همانگونه که از شکل مشخص است برای سرریزهای نیم‌استوانه‌ای تغییرات ضریب دبی ابتدا از 0/724 تا 0/883 در  $H_1/R = 1/31$  افزایش می‌یابد، سپس برای  $H_1/R$  بیشتر از 1/31 ضریب دبی تا محدوده‌ی 7/551 کاهش می‌یابد و مقدار حداقل آن به 0/649 می‌رسد. تغییرات ضریب دبی با  $H_1/R$  برای مقاطع ربع‌استوانه‌ای، همانند سرریزهای استوانه‌ای و نیم‌استوانه‌ای بوده و بیشترین میزان ضریب دبی در  $H_1/R$  برابر 0/95 حاصل شد، سپس ضریب دبی با افزایش  $H_1/R$  کاهش یافت.

با مقایسه ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای، نیم‌استوانه‌ای و ربع‌استوانه‌ای مشاهده می‌شود که مقدار ضریب دبی در یک  $H_1/R$  ثابت برای سرریزهای استوانه‌ای بیشترین مقدار و برای سرریزهای ربع‌دایره‌ای کم‌ترین مقدار را دارد که دلیل این موضوع، انحناى زیادتر شکل سرریز و در نهایت خطوط جریان در سرریزهای استوانه‌ای می‌باشد. کم بودن ضریب دبی در سرریزهای ربع‌استوانه‌ای را می‌توان به این صورت تحلیل کرد که هنگام نزدیک شدن جریان به سرریز

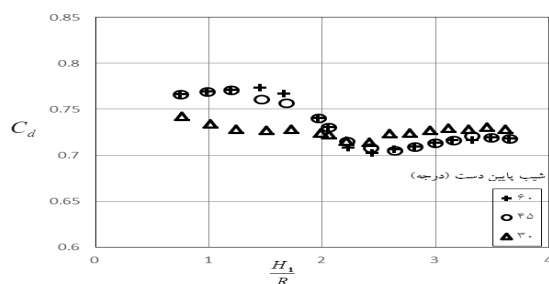
نمودار تقریباً ثابت می‌گردد.

### 3-6- تأثیر کمان تاج در بالادست بر ضریب دبی

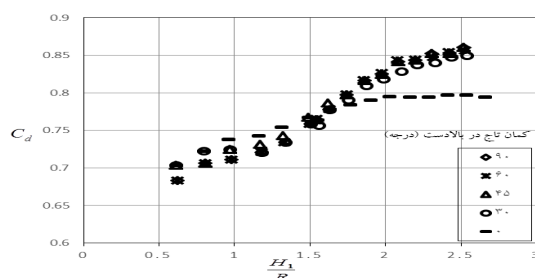
روند تغییرات ضریب دبی با  $H_1/R$  به ازای کمان‌های مختلف از تاج در بالادست سرریز در مدل عددی در شکل 8 آورده شده است (گروه G). کمان تاج در بالادست بر روی ضریب دبی بدون تأثیر می‌باشد. همان‌گونه که از شکل مشخص است در  $0/614 \leq H_1/R \leq 1/86$  تغییرات ضریب دبی حدود 3 درصد می‌باشد که می‌توان از آن صرف‌نظر نمود. در  $H_1/R$  بالاتر از  $1/86$  ضریب دبی با تغییر کمان از صفر درجه تا 90 درجه حدود 8 درصد افزایش می‌یابد.



شکل 6 تغییرات  $C_d$  با  $H_1/R$  برای تغییرات شیب بالادست



شکل 7 تغییرات  $C_d$  با  $H_1/R$  برای تغییرات شیب پایین دست



شکل 8 تغییرات  $C_d$  با  $H_1/R$  برای تغییرات کمان بالادست

که ضریب دبی سرریزهای گروه D تقریباً برابر با ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای، نیم استوانه‌ای هم ارتفاع (ارتفاع سرریز) بوده و از سرریزهای ربع‌استوانه‌ای بیشتر می‌باشد.

### 3-4- تأثیر شیب بالادست بر ضریب دبی

شکل 6 تغییرات ضریب دبی را با  $H_1/R$  برای سرریزهای با شیب دیواره پایین‌دست ثابت 45 درجه و شیب دیواره بالادست متغیر نشان می‌دهد (گروه E). شیب‌های بالادست در نظر گرفته شده 30، 45، 60 و 90 درجه است. تغییرات ضریب دبی ابتدا از  $0/766$  در  $H_1/R=0/746$  تا  $0/793$  در  $H_1/R=1/876$  افزایش می‌یابد. برای مقادیر بیش‌تر از  $H_1/R=1/876$  ابتدا نمودار حالت نزولی پیدا می‌کند و سپس نمودار روند ثابتی را ادامه می‌دهد. با افزایش شیب بالادست در  $H_1/R$  بالاتر از  $1/876$  ضریب دبی کاهش می‌یابد. تفاوت ضریب دبی برای  $H_1/R$  کمتر از  $1/876$  هنگامی که  $\alpha$  از 30 درجه به 90 درجه تغییر می‌کند، کمتر از 3 درصد می‌باشد و برای  $H_1/R$  بالاتر به 9 درصد هم می‌رسد. دلیل کاهش ضریب دبی، مقاومت جریان هنگام برخورد با دیواره بالادست است. کاهش شیب باعث ایجاد جریان یکنواخت و آرام روی سرریز و افزایش سرعت و نهایتاً افزایش ضریب دبی می‌گردد.

### 3-5- تأثیر شیب پایین دست بر ضریب دبی

شکل 7 تغییرات ضریب دبی را با  $H_1/R$  برای شیب بالادست 90 درجه و شیب پایین دست متغیر نشان می‌دهد. در این شکل منحنی‌های ضریب دبی برای شیب‌های پایین دست 30، 45 و 60 درجه نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود برای بار کل بالادست کمتر از 2 تغییر شیب باعث تغییر در مقدار ضریب دبی می‌گردد، بطوری که در شیب‌های 45 و 60 درجه مقدار ضریب دبی در یک  $H_1/R$  ثابت تغییر نمی‌کند، ولی با کاهش شیب پایین دست به 30 درجه، ضریب دبی کاهش می‌یابد. با افزایش  $H_1/R$  از اثر شیب پایین دست بر ضریب دبی کاسته شده، به‌گونه‌ای که در سه شیب مذکور اختلاف ضریب دبی ناچیز گشته و

در این گروه از سرریزها با افزایش بار کل بالادست ضریب دبی افزایش می‌یابد. شیب نمودار در  $H_1/R$  بالاتر از  $1/86$  برای همه کمان‌ها جز کمان صفر درجه بیشتر می‌شود. علت کاهش ضریب دبی در کمان صفر درجه، نبود انحنا سرریز در بالادست می‌باشد. وجود دیواره قائم بالادست باعث کاهش سرعت جریان و در نتیجه کاهش ضریب دبی جریان می‌گردد.

#### 4- نتیجه‌گیری

خصوصیات هیدرولیکی جریان روی سرریزهای تاج مدور در هفت گروه مورد بررسی قرار گرفت. بهینه‌سازی جریان روی سرریز با استفاده از مدل k-ε به منظور مدل کردن آشفتگی، نتایج مناسبی ارائه می‌دهد. با توجه به صحت‌سنجی انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که نتایج تطابق بسیار خوبی با مدل‌سازی آزمایشگاهی داشتند. در تحقیق حاضر بازه تغییرات  $H_1/R$  نسبت به کارهای قبلی افزایش یافت، به نحوی که برای سرریزهای استوانه‌ای، نیم استوانه‌ای و ربع استوانه‌ای این بازه تا مرز 8 توسعه داده شد. در این تحقیق نتایج نشان داد که ضریب دبی در سرریزهای استوانه‌ای، نیم استوانه‌ای و ربع استوانه‌ای با افزایش بار نسبی ابتدا روند افزایشی و سپس کاهش‌ی دارد. با مقایسه ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای، نیم استوانه‌ای و ربع استوانه‌ای مشاهده می‌شود مقدار ضریب دبی در یک  $H_1/R$  ثابت برای سرریزهای استوانه‌ای بیشترین مقدار و برای سرریزهای ربع دایره‌ای کم‌ترین مقدار را دارد که دلیل این موضوع شکل سرریز و در نهایت انحنای زیادتر خطوط جریان در سرریزهای استوانه‌ای نسبت به ربع دایره‌ای است. در سرریزهای ربع دایره‌ای دیواره قائم بالادست سبب مقاومت در برابر جریان گشته که این امر باعث کاهش دبی جریان می‌گردد. افزایش ارتفاع سرریز نیز موجب افزایش ضریب دبی می‌گردد. بطوری که ضریب دبی سرریزهای گروه D تقریباً برابر با ضریب دبی سرریزهای استوانه‌ای، نیم استوانه‌ای هم ارتفاع است و از سرریزهای ربع استوانه‌ای بیشتر می‌باشد. تغییر ضریب دبی برای  $H_1/R$  کم‌تر از  $1/86$  هنگامی که شیب بالادست از 30 درجه به 90 درجه تغییر می‌کند، کمتر از 3 درصد

بوده و برای  $H_1/R$  بیشتر از  $1/86$  هنگامی که شیب بالادست از 30 درجه به 90 درجه تغییر می‌کند، به 9 درصد هم می‌رسد که می‌توان از آن صرف‌نظر کرد. با تغییر شیب پایین‌دست برای  $H_1/R$  بیشتر از 2 تغییری در مقدار ضریب دبی ایجاد نمی‌گردد. برای  $H_1/R$  کمتر از 2، افزایش شیب پایین‌دست باعث افزایش ضریب دبی می‌شود. افزایش کمان تاج بالادست در مقادیر بار نسبی بیشتر از  $1/86$  باعث می‌شود که ضریب دبی حدود 8 درصد افزایش یابد و در مقادیر پایین‌تر از  $1/86$  تاثیری بر ضریب دبی ندارد.

#### 5- فهرست علائم

$q$	دبی در واحد عرض
$C_d$	ضرب دبی
$g$	شتاب ثقل
$H_1$	هد بالادست
$R$	شعاع سرریز
$h$	ارتفاع سرریز
$Y_2$	عمق جریان روی تاج
$X_i$	i امین داده برآوردی
$Y_i$	i امین داده اندازه‌گیری
$\bar{Y}$	متوسط داده $Y_i$
$n$	تعداد نمونه‌های مورد ارزیابی
$\alpha$	شیب بالادست
$\beta$	شیب پایین‌دست
$\Delta$	درصد خطای نسبی
NRMSE	نرمال میانگین مجذور مربعات خطا

#### 6- منابع

ابریشمی، ج. و حسینی، م (1373). هیدرولیک کانال‌های روباز. انتشارات آستان قدس رضوی، ص. 501.

اسماعیلی، ک. نقوی، ب. کورش وحید، ف. و یزدی، ج (1389). "مدل‌سازی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در سرریزهای استوانه‌ای"، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 24، شماره 1، ص. 166-179.

تاج و بدنه بر ضریب تخلیه و شرایط هیدرولیکی جریان در سرریزهای تاج دایره‌ای با استفاده از مدل فیزیکی"، نشریه دانش آب و خاک، جلد 22، شماره 1، صص. 77-89.

وکیلی، ش. 1391. "بررسی تاثیر مدل‌های مختلف آشفتگی و روش‌های گسسته‌سازی بر توزیع فشار روی سرریز اوجی"، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.

هوشیار، م. حسینی، س.ا. و مسگری، ا. (1391). "مدل‌سازی دماهای حداقل شهرستان ارومیه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی خطی و غیرخطی چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی"، مجله اندیشه جغرافیایی، سال ششم، شماره دوازدهم، صص. 33-50.

Bos, M.G. (1978). "Discharge measurement structures". Publ. 20, Int. for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

Cassidy, J. J. (1965). "Irrotational flow over spillways of finite height". ASCE, J. Eng. Mech. Div. 91(6):155-173.

Chanson H. (1996). "Some hydraulic aspects during overflow above inflatable flexible memberane dam". Rep. Dept. of Civ. Engrg., University of Queensland, Australia.

Escande L. and Sananes F., (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).

Fawer C., (1937). "Etude de quelques écoulements permanents a filets courbes (Study of some steady flows with curved streamlines)". Thesis, Lausanne, Switzerland. Imprimerie La Concorde (in French).

Ramamurthy, A. S. and N. D. Vo. (1993). "Characteristic of circular crested weir". ASCE, J. Hyd. Eng. 119(9):1055-1063.

Rehbok T., (1929). "The river hydraulic laboratory of the technical university of Karlsruhe". pp:111-242. Hydraulic laboratory practice, ASME, New York, NY.

Rouve G. and Indlekofer H., (1974). "Abfluss über geradlinige wehre mit halbkreisförmigem überfallprofil. (Discharge over straight weirs with semicylindrical crest.)". Der Bauingenieur 49(7): 250-256 (in German).

Sarginson E.J., (1972). "The influence of surface tension on weir flow". J. Hydr. Res., 10(4): 431-446.

باقری، س. و حیدرپور، م (1388). "کاربرد معادلات اولر در تعیین ضریب دبی سرریزهای تاج دایره‌ای"، مجله تحقیقات آب و خاک ایران (40)1، صص. 73-67.

بیگی‌پور، غ. و بینا، م (1384). "هیدرولیک جریان در سرریزهای تاج دایره‌ای و استوانه‌ای"، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان، صص. 239-246.

حدادیان سنو، ه. کریمی، ع. اسفندیارپور بروجنی، ع. و حق‌نیا، غ. (1394). "مقایسه کارایی RMSE و NRMSE برای محاسبه مقدار موثر خطای مدلهایی با مجموعه داده‌های آموزش متفاوت"، چهاردهمین کنگره علوم خاک ایران - پیدایش، رده‌بندی، ارزیابی خاک و زمین‌نما، ولی عصر (عج) رفسنجان.

حیدرپور، م. افضل‌ی مهر، ح. و خرمی، ا. (1380). "بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای"، مجموعه مقالات کنفرانس سازه‌های هیدرولیکی، کرمان، صص. 65-57.

حیدرپور، م. ایزدی‌نیا، ا. و سعادت پور، ع (1385). "بررسی توزیع فشار روی تاج سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای با ارتفاعات مختلف"، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

حیدرپور، م. چمنی، م. و خرمی، ا. (1384). "بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای استوانه‌ای و تاج دایره‌ای"، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، سال دوازدهم، شماره ششم، صص. 21-30.

خرمی، ا. (1379). "بررسی خصوصیات تعدادی سرریز تاج دایره‌ای"، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، صص. 108.

فرسادی‌زاده، د. خسروی‌نیا، پ. و ورجاوند، پ (1387). "بررسی ضریب جریان در سرریزهای استوانه‌ای با استفاده از مدل عددی فلونت"، مجموعه مقالات (CD). چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.

قبادیان، ر. فرمانی‌فرد، م. و کریمی، ع (1391). "اثر زبری