



دهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه  
۲۹ دی الی ۱ بهمن ۱۳۹۴، اهواز، دانشگاه شهید چمران

## بررسی عددی اثر نابرابری دیواره بالادست و پایین دست سرریز زیگزاگی بر ضریب دبی

فرزاد ارجمندی کیا: دانشجوی سابق کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه فردوسی

مشهد Farzad.Arjmandikia@gmail.com

کاظم اسماعیلی: دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد esmaili@um.ac.ir

### چکیده:

در این پژوهش با استفاده از مدل **FLOW 3D** به بررسی اثر نابرابر بودن دیواره بالادست و پایین دست سرریز زیگزاگی بر ضریب دبی سرریز پرداخته شده است. در این راستا دو سرریز زیگزاگی با زوایای کناری ۲۲/۵ و ۳۰ درجه انتخاب گردید. با توجه به شرایط آزمایشگاهی ۵ دبی انتخاب شد. نتایج نشان داد خروجی های مدل عددی با نتایج برداشت شده آزمایشگاهی هماهنگی دارد. همچنین، مقدار ضریب دبی در مقابل پارامترهای بی بعد  $\frac{H_d}{p}$ ,  $\frac{H_d}{L_e}$ ,  $\frac{H_d}{W}$  با افزایش هر یک از این پارامترها، روند کاهشی داشته است. این کاهش به دلیل تداخل جریان در دماغه سرریز می باشد.

کلمات کلیدی: مدل **FLOW 3D**، مدل فیزیکی، سرریز زیگزاگی، ضریب شدت جریان



## مقدمه:

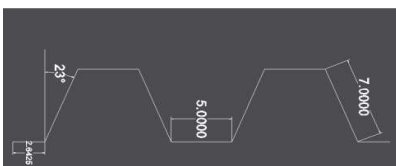
هر مانعی که در مسیر جریان آب در یک آبراهه قرار گیرد و باعث افزایش تراز سطح آب در پشت آن گشته و سرعت آب در حین عبور از روی آن زیاد شود، سرریز نامیده می شود (۱). سرریزهای زیگزاگی از سازه های مهم هیدرولیکی جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال ها، رودخانه ها و مخازن سدها به شمار می روند. نمای این سرریزها در سطح افق، از دیواره های متصل به هم تشکیل یافته و با هندسه مثلثی، دوزنقه ای، مستطیلی و یا قوسی و با تناوب در عرض جریان تکرار می گردد. سرریزهای کنگره ای به عنوان گزینه ای مناسب برای اصلاح سرریزهایی که برای عبور دبی حداکثر محتمل با مشکل روبرو هستند مطرح می شوند. این سرریزها دارای تاج غیر خطی بوده و در یک عرض معین، بدلیل بیشتر بودن طول موثر سرریز نسبت به سرریزهای با تاج مستقیم در یک ارتفاع مشابه، دبی عبوری از این سرریزها بیشتر از سرریز مستقیم است. این سرریزها به دلیل زیاد بودن دبی عبوری از روی آن ها تحت بارهای هیدرولیکی کم و نیاز جا و مکان کمتر در پلان نسبت به دیگر سرریزها، سازه هایی اقتصادی محسوب می شوند. در واقع هدف اصلی در طرح کنگره ای سرریزها، افزایش ظرفیت انتقال جریان روی سرریز با تاج ثابت و به ازای ارتفاع معین سطح آب در بالادست سرریز بوده است (۳). از اینرو بهینه سازی ابعاد این سازه اهمیت زیادی در طراحی ها و کاهش هزینه ها دارد. پاکسون و سویج (۲۰۰۶) از مدلسازی فیزیکی سرریزهای زیگزاگی برای توسعه چندین روش طراحی استفاده کردند. همچنین به مدل سازی عددی این سرریز با استفاده از مدل FLOW 3D پرداختند. نتایج نشان میدهد که هرچند روش های طراحی برای نسبت های  $(w/p < 2)$ : عرض یک سیکل سرریز  $p$ : ارتفاع دیواره سرریز در بالادست ( مناسب نیست، ولی کارایی هیدرولیکی برای مقادیر کوچکتر  $w/p$ ، افزایش پیدا میکند. سی هان و امیر اقلو (۲۰۱۱) به مدل سازی جریان در سرریزهای زیگزاگی جانبی با اعداد فرود متفاوت پرداختند. مدل سازی از روش حجم سیال (Volume of Fluid) که برای مدل سازی در سطح آزاد انجام می گیرد؛ استفاده شد و برای ارزیابی عملکرد مدل از نتایج آزمایشگاهی استفاده شد (۵). مهمترین امتیاز استفاده از مدل های ریاضی، هزینه پائین آن در برابر کار آزمایشگاهی می باشد. همچنین یک تحقیق محاسبه ای می تواند با سرعت قابل ملاحظه ای انجام شود و طراح می تواند مفاهیم صدها ترکیب از حالت های مختلف را در مدت زمان کمی مطالعه کرده، طرح بهینه را انتخاب نماید، در حالی که وجود این حالت در کار آزمایشگاهی مستلزم مدت زمان زیادی خواهد بود. یکی از مواردی که بررسی شده است، اثر برابری و نابرابری ( در ابعاد متفاوت ) ارتفاع دیواره ی بالادست سرریز و پایین دست سرریز بر ضریب جریان با توجه به پارامترهای هیدرولیکی  $Q$ ،  $H_d$ ، و پارامترهای بی بعد  $\frac{H_d}{P}$ ،  $\frac{H_d}{L_e}$ ،  $\frac{H_d}{w}$  بر روی ضریب دبی با توجه به نتایج مدل FLOW 3D می باشد. در این مقاله با استفاده از مدل FLOW 3D بعد از انجام کالیبراسیون و صحت سنجی، حالت های مختلفی از سرریزهای دارای پیش بند و پس بند در نظر گرفته شده و اثر برابر نبودن دیواره های بالادست و پائین دست سرریز بر ضریب دبی جریان با تحلیل نتایج خروجی صورت گرفته است.

## مواد و روش ها:

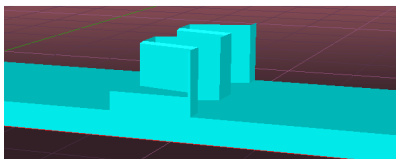
در این تحقیق برای بررسی جریان در سرریز زیگزاگی از مدل عددی FLOW3D استفاده و نتایج آن با نتایج مدل آزمایشگاهی مقایسه می شود. همچنین حالت های مختلفی از سرریزها، نظیر سرریز دارای پیش بند را با توجه به صحت کالیبراسون انجام شده بررسی گردید. مدل FLOW 3D از جمله نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) می باشد که کاربرد زیادی جهت مدل سازی شرایط پیچیده سه بعدی ماندگار و غیر ماندگار با شکل و هندسه نامنظم دارد. مزایای استفاده از مدل FLOW 3D، کاربرد پذیر بودن نرم افزار نسبت به مدل های مشابه، اجرا و طراحی سریع مرزها و هندسه جامد و همچنین شبکه بندی ها، ارائه پیغام های راهنما به منظور هر چه بهتر شدن شبیه سازی، انتخاب اتوماتیک بهترین بازه های زمانی و بدون نیاز به تعریف بازه زمانی اولیه و مزایایی دیگر می باشد. این مدل توانایی نمایش تغییرات لحظه ای پارامترهای هیدرولیکی مختلف مانند عمق و سرعت در جهات مختلف و در هر مقطع دلخواه از سازه را به



صورت فایل متنی (Text) یا گرافیکی داراست. در این شبیه سازی که به صورت سه بعدی در جهات  $X$ ،  $Y$  و  $Z$  انجام گرفته شده است برای تعیین سطح آزاد از روش VOF استفاده شده است. شبیه سازی ها در حالت جریان آشفتنه صورت گرفته است و مدل آشفتگی RNG به دلیل تطابق بیشتر با نتایج آزمایشگاهی که توسط نیما تور، ۱۳۹۱ بدست آمده، مورد مقایسه قرار داده شد. آزمایشات در فلومی با عرض ۳۰ سانتی متر انجام شده است. در آزمایشات مربوط به این پژوهش از یک مدل سرریز زیگزاگی که دارای دو سیکل می باشد و ارتفاع دیواره بالادست و پائین دست این مدل سرریز، ۵ سانتی متر بوده است. شکل (۱) پلان و اندازه ی دیگر ابعاد این مدل سرریز را نشان می دهد. بعد از انجام آنالیز ابعادی پارامترهای بی بعد  $\frac{H_d}{p}$ ،  $\frac{H_d}{L_e}$ ،  $\frac{H_d}{W}$  که پارامترهای تاثیر گذار بر ضریب شدت جریان می باشند، تعیین شدند.

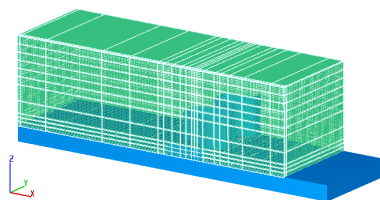


شکل (۱) پلان و اندازه ابعاد مدل سرریزها



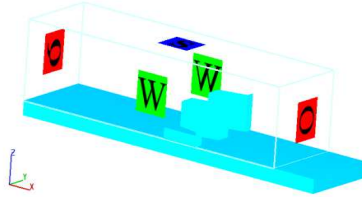
شکل (۲) نمایی از نمونه اتوکد پیش بند یک سرریز

برای ساخت هندسه مدل از نرم افزار Auto CAD استفاده شد. هندسه مدل اولیه کاملاً شبیه مدل آزمایشگاهی ساخته شده (ابعاد به سانتی متر رسم شده اند). سپس مدل تهیه شده با فرمت Stl وارد مدل FLOW 3D گردید. در این مدل تمام موارد مربوط به تنظیمات مورد نیاز برای گرفتن نتایج مطلوب لازم است چندین مرتبه آزمون و خطا گردد. مواردی نظیر مناسب ترین تعداد سلول در کل شکل و تعداد شبکه ها در جهات مختلف که در جهت  $X$ ، ۲۵۰ سلول و در جهات  $Y$  و  $Z$  به ترتیب ۱۰۰ و ۸۰ سلول در نظر گرفته شد.



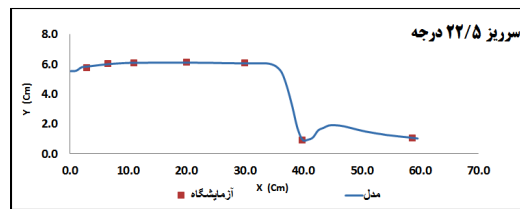
شکل (۳) شبکه بندی صورت گرفته برای محدوده ی جریان

انتخاب شرایط مرزی مناسب در نتایج خروجی مدل اهمیت زیادی دارد. شرایط مرزی مورد نظر در شکل (۴) نشان داده شده است. در بالادست جریان، مرز را در حالت (Volume flow rate) که در این حالت دبی ورودی در بالا دست را شبیه سازی می کند، در نظر گرفته شد. قسمت خروجی در پائین دست جریان در حالت جریان خروجی (Out flow) انتخاب شد. به این دلیل که در این قسمت هیچ پارامتری برای اندازه گیری و بررسی در نظر نبوده است. دیواره های کناری جریان در حالت دیواره (Wall) در نظر گرفته شد و کف بستر و قسمت بالایی جریان در حالت متقارن (Symmetry) انتخاب گردید.

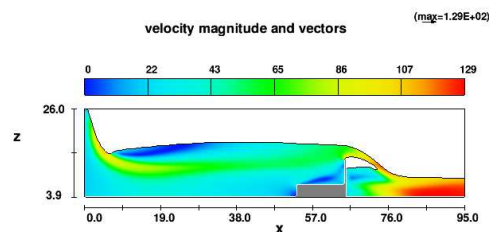


شکل ۴) شرایط مرزی به کار برده شده برای مدل

بعد از انجام تمام تنظیمات لازم در قسمت Set up مدل، که شامل مواردی نظیر؛ انتخاب ماده ای که در شرایط آزمایشگاه جریان داشته است، در نظر گرفتن زمان مناسب (۳۰ ثانیه) برای اینکه جریان به وضعیت پایدارتر در شبیه سازی رسیده باشد و نیز انتخاب تعداد مش ها در سه جهت اصلی و اعمال شرایط مرزی مناسب می باشد، همانطور که در شکل (۵) و (۶) نشان داده شده است، تغییرات ارتفاع آب در بالادست جریان سرریز زیگزاگی در مدل FLOW 3D شبیه سازی گردید. بعد از بررسی نتایج خروجی های مربوط به قسمت ارتفاع سطح آزاد آب elevation Free Surface در قسمت آنالیز مدل در بخش Text Output، که در فاصله ی ۲۵ سانتی متر بالا دست سرریز مد نظر در آزمایشگاه برداشت شده بود؛ تطابق نسبی نتایج به دست آمده از مدل و نتایج آزمایشگاه حاصل شده بود.



شکل ۵) مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل و آزمایشگاهی



شکل ۸) نمونه ی شبیه سازی شده در سرریز دارای پیش بند

## نتایج و بحث

پس از بررسی های اولیه، اثر برخی پارامترهای هیدرولیکی و هندسی بر ضریب دبی، مورد مطالعه قرار گرفت. در این تحقیق برای هر یک از سرریز های اشاره شده ، ۵ دبی و در دو حالت جریان آزاد و جریان مستغرق ( $\frac{H_d}{p} > 0.6$ ) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور به دست آوردن ضریب دبی از داده های به دست آمده، از رابطه (۱) که رابطه عمومی سرریزها می باشد، استفاده شد.

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} L H_d^{\frac{3}{2}} \quad (۱)$$



Q: دبی جریان عبوری از روی سرریز، g: شتاب ثقل،  $L_e$ : طول موثر سرریز،  $H_d$ : ارتفاع انرژی کل بالادست سرریز می باشد.

در ادامه، برای نمونه در جدول (۱)، نتایج به دست آمده در مورد سرریز ۳۰ درجه برای نمونه آورده شده است. در این جداول مقادیر دبی، ارتفاع کل آب در ۲۵ سانتی متری بالای هر یک از سرریزها، سرعت عبوری در این نقطه، ارتفاع معادل انرژی سرعتی، انرژی کل بالادست سرریز، مقدار عامل های بدون بعد شامل نسبت ارتفاع انرژی کل سرریز به ارتفاع سرریز، طول موثر سرریز و عرض سرریز ( $\frac{H_d}{p}$ ,  $\frac{H_d}{L_e}$ ,  $\frac{H_d}{W}$ )، ضریب دبی به دست آمده از رابطه عمومی سرریزها، ضریب دبی محاسبه شده از رابطه به دست آمده برای هر سرریز و در نهایت، عدد فرود جریان بالادست سرریز به ترتیب آورده شده است.

$$C_d = F\left(\frac{H_d}{L_e}, \frac{H_d}{W}, \frac{H_d}{p}, H_d, Q\right) \quad (2)$$

در ادامه برای بررسی بهتر نتایج به دست آمده از مدل و اثبات همبستگی بین نتایج مدل و آزمایشگاه، از نرم افزار SPSS برای تعیین ضریب دبی و مقایسه آن با ضریب دبی به دست آمده از رابطه (۱) استفاده شد. نتایج مورد نظر در جدول های (۱) تا (۴) ارائه شده است.

جدول (۱): نتایج به دست آمده از سرریز زیگزاگی با زاویه ۳۰ درجه در آزمایشگاه، ارتفاع ۱۰ سانتی متر

Q ( m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	$V^2/2g \times 10^9$ (m)	$H_d/p$	$H_d/W$	$H_d/L_e$	ضریب دبی اندازه گیری شده	ضریب دبی محاسبه شده
0.0028	0.00090	41	0.23	0.148	0.055	0.642	0.642
0.0083	0.00266	362	0.49	0.316	0.117	0.620	0.624
0.0139	0.00445	1011	0.69	0.445	0.164	0.618	0.610

Q ( m <sup>3</sup> /s)	v (m/s)	$V^2/2g \times 10^9$ (m)	$H_d/p$	$H_d/W$	$H_d/L_e$	ضریب دبی اندازه گیری شده	ضریب دبی محاسبه شده
0.0028	0.00089	41	0.21	0.136	0.050	0.729	0.758
0.0083	0.00268	366	0.37	0.237	0.088	0.725	0.697
0.0139	0.00445	1008	0.77	0.495	0.182	0.528	0.542
0.0153	0.00488	1216	0.89	0.573	0.212	0.465	0.495
0.0181	0.00577	1696	0.97	0.624	0.230	0.485	0.464
0.0153	0.00490	1220	0.75	0.484	0.179	0.600	0.605
0.0181	0.00579	1710	0.84	0.542	0.200	0.598	0.599

جدول (۲): نتایج به دست آمده از سرریز زیگزاگی با زاویه ۳۰ درجه، ارتفاع ۱۰ سانتی متر (پس بند) ضخامت ۳ سانتی متر (۳/۱۰)

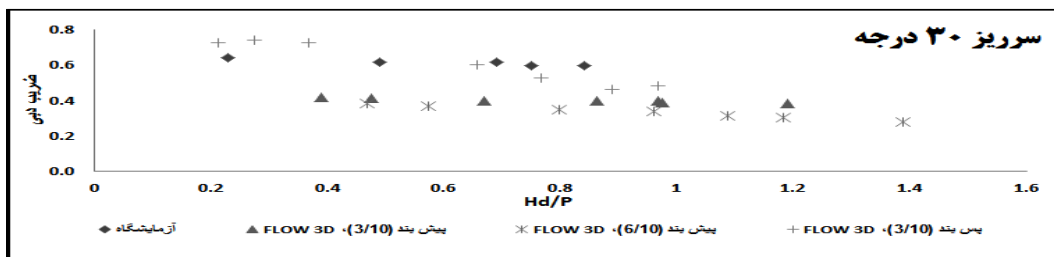
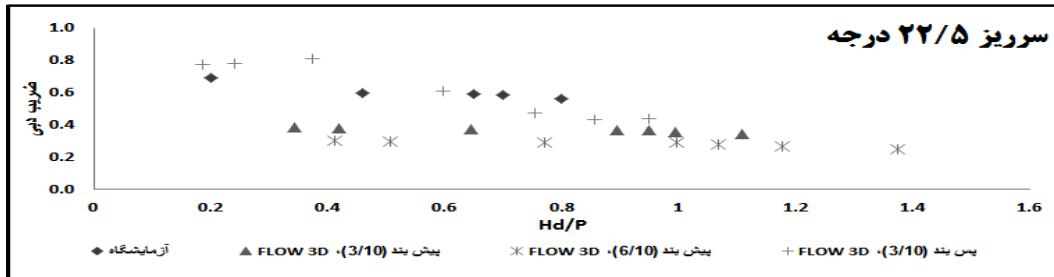


جدول (۳): نتایج به دست آمده از سرریز زیگزاگی با زاویه ۳۰ درجه، ارتفاع ۱۰ سانتی متر (پیش بند) ضخامت ۳ سانتی متر (۳/۱۰)

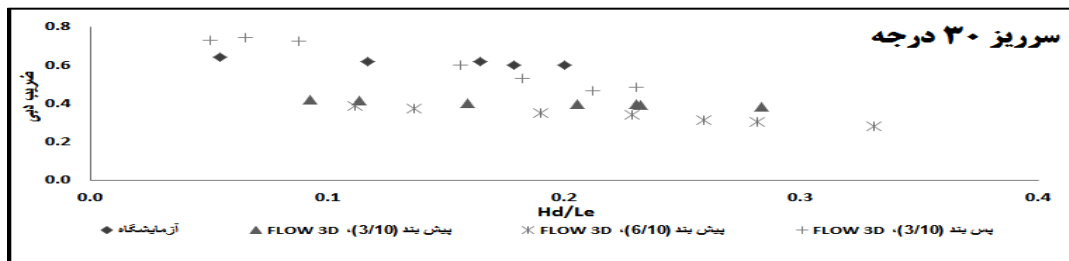
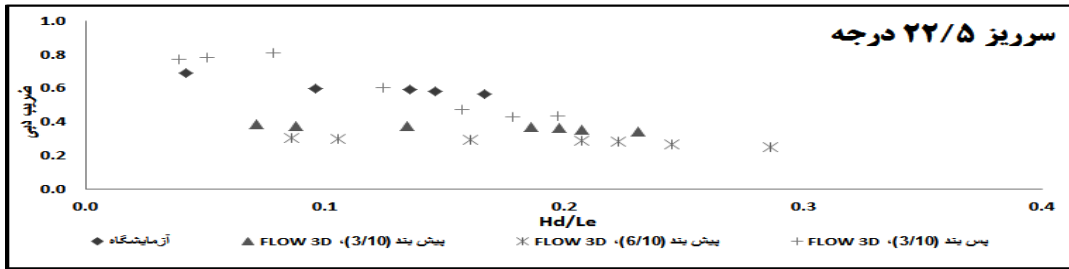
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$v$ (m/s)	$V^2/2g \times 10^9$ (m)	$H_d/P$	$H_d/W$	$H_d/L_e$	ضریب دبی اندازه گیری شده	ضریب دبی محاسبه شده
0.0028	0.00089	41	0.39	0.250	0.092	0.421	0.417
0.0083	0.00267	363	0.67	0.431	0.159	0.401	0.405
0.0139	0.00444	1004	0.97	0.624	0.230	0.397	0.393
0.0153	0.00488	1214	0.98	0.629	0.232	0.391	0.392
0.0181	0.00576	1689	1.19	0.768	0.283	0.384	0.383

جدول (۴): نتایج به دست آمده از سرریز زیگزاگی با زاویه ۳۰ درجه، ارتفاع ۱۰ سانتی متر (پیش بند) ضخامت ۶ سانتی متر (۶/۱۰)

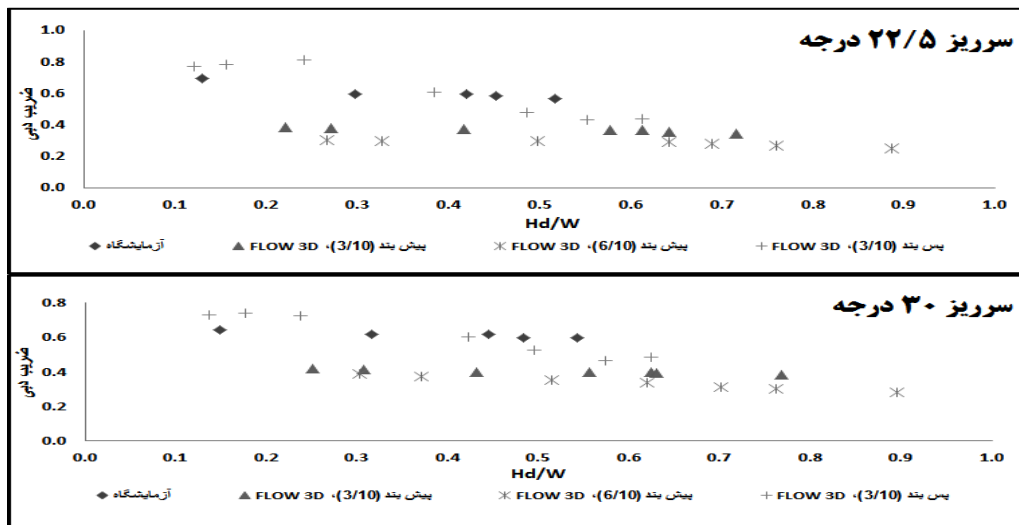
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$v$ (m/s)	$V^2/2g \times 10^9$ (m)	$H_d/P$	$H_d/W$	$H_d/L_e$	ضریب دبی اندازه گیری شده	ضریب دبی محاسبه شده
0.0028	0.00089	41	0.47	0.302	0.111	0.386	0.387
0.0083	0.00267	363	0.8	0.515	0.190	0.351	0.349
0.0139	0.00443	1001	1.09	0.701	0.259	0.313	0.316
0.0153	0.00487	1209	1.18	0.762	0.281	0.303	0.306
0.0181	0.00574	1682	1.39	0.895	0.330	0.282	0.283



شکل (۱): رابطه ضریب دبی با نسبت بی بعد  $H_d/P$



شکل (۴): رابطه ضریب دبی با نسبت بی بعد Hd/Le



شکل (۵): رابطه ضریب دبی با نسبت بی بعد Hd/w



## نتیجه گیری

- ۱- روند تغییرات سرریز دارای پس بند شیب تند تری نسبت به حالت های دیگر داشت، بعد از آن ، سرریز در حالت آزمایشگاه، سرریز دارای پیش بند با ضخامت  $\frac{3}{10}P$  و سرریز دارای پیش بند با ضخامت  $\frac{6}{10}P$  به ترتیب قرار گرفته است.
- ۲- محدوده تغییرات ضریب دبی در مورد سرریز دارای پس بند و بعد از آن، سرریز در حالت آزمایشگاه در حد بالاتری نسبت به حالت های دارای پیش بند با ضخامت های  $\frac{3}{10}P$  و  $\frac{6}{10}P$  قرار داشت.
- ۳- در سرریز دارای پیش بند ( $\frac{6}{10}P$ )، در هر دوزاویه مورد بحث، شیب تغییرات در هر دو حالت تقریباً یکنواخت است. ولی محدوده تغییرات ضریب دبی در سطح پائین تری از محدوده  $\frac{3}{10}P$  قرار گرفته است.
- ۴- برای سرریز دارای پس بند ( $\frac{3}{10}P$ ) در هر دو زاویه مورد بحث، شیب تغییرات ضریب دبی در حالت آزاد کندتر از حالت استغراق می باشد.
- ۵- در جریان در حالت آزاد تا زمانی که به حالت استغراق نرسیده باشد ( $\frac{H_d}{P} < 0.6$ )، تغییرات عمق آب پائین دست تاثیری روی عمق آب بالادست و در نتیجه تاثیری روی ضریب دبی و راندمان سرریز ندارد. ولی زمانی که سرریز به حالت استغراق رسید ( $\frac{H_d}{P} > 0.6$ )، تغییرات عمق آب پائین دست بر تغییرات ضریب دبی و راندمان هیدرولیکی سرریز اثر می گذارد.
- ۶- تا زمانی که سرریز در حالت آزاد باشد، جریان آب در حال ریزش از سرریز می باشد که این جریان عبوری از روی سرریز، جریانی فوق بحرانی ای می باشد که از پائین دست قابل کنترل نمی باشد. ولی در حالت استغراق، زمانی که عمق آب پائین دست افزایش می یابد، پرش هیدرولیکی ایجاد شده با تیغه آب سرریز شونده که جریان فوق بحرانی می باشد، برخورد کرده، در این صورت پرش هیدرولیکی به مقطع کنترل رسیده و تیغه آب سرریز به حالت استغراق خواهد رسید.
- ۷- نتیجه دیگری که استنتاج شد، اثر احداث پیش بند در بالادست سرریز بر بالا بردن دامنه استغراق جریان می باشد.





## منابع

۱. حسینی، محمود، ۱۳۳۹. هیدرولیک کانال های باز/ محمود حسینی، جلیل ابریشمی. و ( ویرایش ۲) مشهد: دانشگاه امام رضا (ع)، ۱۳۷۹، چاپ بیست و پنجم، ۶۱۴ صفحه.
۲. یاسی، م.، و محمدی، م.، ۱۳۸۶. بررسی سرریزهای زیگزاگی با پلان قوسی، علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال یازدهم، شماره چهل و یکم (الف)، ص ۱۲-۱.
۳. اژدری مقدم، م.، و همکاران، ۱۳۸۸. بهینه‌یابی هندسه‌ی سرریز کنگره‌ای مثلثی با استفاده از مدل فازی- عصبی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه‌ی موردی سد Hyrum در ایالت یوتای آمریکا)، مجله مدل‌سازی در مهندسی، سال هفتم، شماره ۱۹، ص ۶۹-۵۷.
۴. رحیمی اصل، روح ا.....، ۱۳۵۷- ، گرد آورنده و مترجم. دینامیک سیالات محاسباتی ( C. F. D ) به کمک نرم افزار FLUENT
5. CihanAydin, m., and eminemiroglu., m, 2011. “Determination of capacity of labyrinth side weir by CFD”, flow measurement and instrumentation, 29: 1-8., USA .
6. Falvey, H., T, (2003), “Hydraulic Design of Labyrinth weirs”, ASCE Press. Pub., Virginia , USA .
7. Paxson, g., and Savage., b, 2006. “Labyrinth spillways: comparison of two popular U.S.A. design methods and consideration of non-standard approach conditions and geometries”, *International Junior Researcher and Engineer Workshop on Hydraulic Structures*, J
8. User Manual of Flow3D Software V9.3 , Flow Science Inc (52)

Numerical Analysis uneven Zigzag wall on the upstream and downstream spillway discharge coefficient