

بررسی طول موثر تاج سرریز در سرریزهای سه جانبی

حامد تقی زاده¹، عباس نقوی^{2*}، امین حسینی³، رضا الهیاری⁴

1- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه های هیدرولیکی، شرکت مهندسی مشاور تراز آب جامع

2- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه های هیدرولیکی، شرکت مهندسی مشاور تراز آب جامع

3- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیریت منابع آب، شرکت آب منطقه ای استان گلستان

4- کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیریت منابع آب، شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی

naghavi62@gmail.com

چکیده

سرریزهای چندوجهی سازه های هیدرولیکی مهم جهت تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال ها، رودخانه ها و مخازن سدها به شمار می آیند. فرضیه اصلی در توسعه طرح چند وجهی این سرریزها افزایش ظرفیت انتقال جریان در روی سرریز از طریق افزایش طول تاج سرریز در یک محدوده معین عرضی بوده است. یافتن هندسه مناسب برای این نوع سرریزها همواره مسئله مهمی برای طراحان سازه های هیدرولیکی بوده است. در این تحقیق با هدف قرار دادن طول موثر تاج این نوع سرریزها، به مدلسازی عددی چند طرح پلان این سرریزها پرداخته شده است. نتایج حاکی از این مسئله است که طرح پلان های دارای ناحیه تداخل جریان های نرمال و جانبی بیشتر، بالاترین میزان کاهش طول موثر تاج سرریز را از خود نشان داده اند. همچنین مدل سرریز شماره 5 به علت دارا بودن تنها یک ناحیه تداخل جریان های نرمال و جانبی و نیز فشردگی ناچیز جریان های ریزشی به علت دارا بودن بازوان کناری طویل، به عنوان نمونه مناسبی از لحاظ عملکرد آبگذری معرفی شده است.

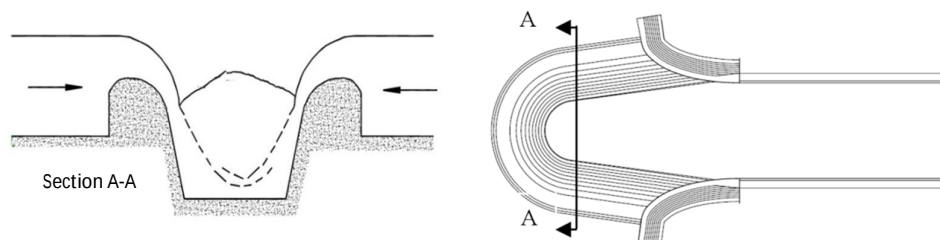
کلمات کلیدی: سرریزهای چندوجهی، طول موثر تاج سرریز، مدلسازی عددی، نرم افزار Flow-3D

مقدمه

سرریزهای سه جانبی از جمله مجراهای تخلیه کننده سدها بوده که علیرغم محدودیت های هیدرولیکی، در شرایط خاص توپوگرافی به عنوان بهترین انتخاب مطرح می شوند. در مناطقی که محدود کردن ارتفاع سد با طولیل شدن تاج سرریز همراه بوده و تکیه گاه دارای شیب تند و به صورت پرتگاه باشد و پی سنگی خوبی نیز موجود باشد، کاربرد این سرریزها بهترین انتخاب است.

تا به حال یک روش کامل و دقیق برای طراحی این سرریزها جامعیت پیدا نکرده است. غالباً سعی گردیده با ساخت یک مدل هیدرولیکی و تغییر پارامترهای موثر در عملکرد هیدرولیکی این سرریزها، به شرایط بهینه هیدرولیکی مدل دست یافته و نتایج حاصل به نمونه اصلی تعمیم داده شود. اغتشاش و نوسانات فشار در کانال جانبی این سرریزها زیاد می باشد به طوریکه نمی توان معادله دینامیکی خاصی برای پروفیل سطح آب در آنها ارائه کرد. تئوری جریان در این نوع بخصوص از سرریزهای جانبی نیز همچون سرریزهای یک جانبی بر اساس قانون بقای مومنتم استوار است. اما تفاوت هایی بین جریان در کانال های جانبی این دو نوع سرریز وجود دارد. همانطور که در شکل شماره 1 دیده می شود، در سرریزهای سه جانبی، جریان از قسمت ابتدائی تاج سرریز (بخش قوسی آن)، که مولفه سرعت در جهت جریان در داخل کانال جانبی سرریز دارد، به جریان آب داخل کانال کمک می کند. این جریان سعی در خارج نمودن و انتقال هر چه سریعتر امواج و آشفتگی های داخل کانال به روی تنداب دارد، حال آنکه لازم است آشفتگی های داخل کانال جانبی (حوضچه) از بین رفته و جریان مستهلک شده وارد تنداب

گردد. در کانال آب بر سرریزهای جانبی، عمق آب در کنار دیواره‌هایی که ریزش در آنها صورت می‌گیرد، کمتر از طرف دیگر آن می‌باشد. در صورتیکه در کانال‌های سرریزهای سه‌جانبی، عمق آب در محور مرکزی کانال افزایش می‌یابد و به شکل یک گرده‌ماهی در می‌آید.



شکل 1- پلان و پروفیل یک سرریز سه‌جانبی

تاکنون مطالعات زیادی برای درک ارتباط بین پارامترهای موثر و چگونگی اثر آنها در جریان بر روی سرریزهای تک جانبی صورت گرفته است. اما مطالعات محدودی در مورد عملکرد هیدرولیکی سرریزهای سه‌جانبی صورت گرفته است و اغلب کارهای انجام شده به مسئله بهبود و اصلاح عملکرد هیدرولیکی جریان روی این سرریزها پرداخته است. از جمله مطالعات انجام شده در ارتباط با سرریزهای سه‌جانبی می‌توان به مطالعات فارنی، نایت و مطالعات موسسه تحقیقات آب وابسته به وزارت نیرو اشاره کرد. مطالعات موسسه تحقیقات آب بر روی شکل آبپایه، ارتفاع و محل نصب آن و تراز کف کانال جانبی در سه مدل هیدرولیکی سرریزهای سد شهید یعقوبی، جره و سیوند بوده است. صالحی نیشابوری و منتظر در سال 1374 به مطالعه آزمایشگاهی و کلاسیک بر روی تعدادی از پارامترهای موثر بر عملکرد هیدرولیکی این سرریزها پرداختند. ایشان با تعریف نوسانات فشار به عنوان تابع هدف و پارامترهایی چون ارتفاع آبپایه، محل آبپایه، شیب کف کانال جانبی و عدد فرود جریان ورودی به عنوان پارامترهای موثر، مطالعات گسترده‌ای روی این سرریزها انجام دادند. دانشبد و طالب بیدختی در سال 1388 بوسیله مدل عددی Fluent، جریان بر روی سرریز سه‌جانبی سد سیوند را مدل‌سازی کردند. البته مطالعات ایشان بیشتر متوجه مدل‌های آشفتگی، روش‌های حل معادلات حاکم و عملکرد مدل عددی بوده است. بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد که کارهای انجام شده در گذشته بیشتر بر روی شکل آبپایه، ارتفاع و محل نصب آن و تراز کف کانال جانبی بوده است. با توجه به اهمیت عملکرد آگذری سرریزها به عنوان مهمترین وظیفه آنها، در این مقاله به بررسی پرامتر طول موثر تاج سرریز که در ارتباط مستقیم با میزان آگذری سرریز می‌باشد پرداخته شده است.

حل عددی

روابط حاکم بر میدان

معادلات حاکم بر حرکت سیال عبارتند از معادله پیوستگی و معادله مومنتم، که برای جریان آشفته تراکم‌ناپذیر با لزجت و چگالی ثابت به صورت معادلات (1) و (2) بیان می‌شود (فرزینگر 1996).

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + g_{x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\nu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \overline{u'_i u'_j} \right) \quad (2)$$

معادلات پروفیل سطح آزاد

موقعیت سیال در پارامتر تابع حجم سیال (VOF) تعریف می شود $F(x,y,z,t)$. این تابع بیانگر حجم سیال بر واحد حجم و بصورت معادله زیر است:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} (F A_x u) + R \frac{\partial}{\partial y} (F A_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (F A_z w) + \xi \frac{F A_x u}{x} \right] = FDIF + FSOR \quad (3)$$

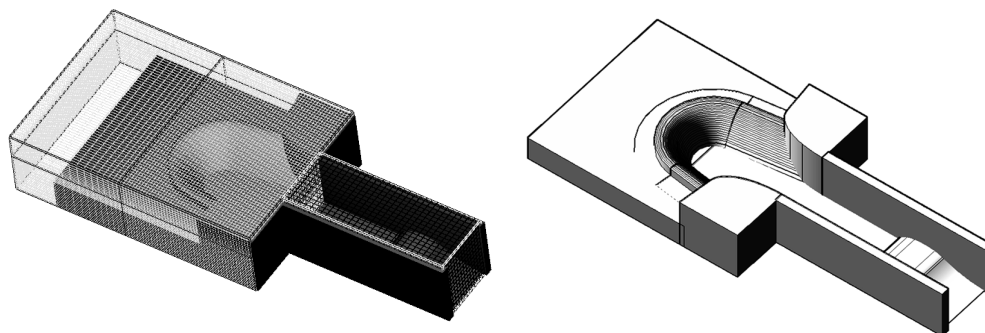
که:

$$FDIF = \frac{1}{V_F} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(v_F A_x \frac{\partial F}{\partial x} + R \frac{\partial}{\partial x} \left(v_F A_y R \frac{\partial F}{\partial y} \right) \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_F A_z \frac{\partial F}{\partial z} \right) + \xi \frac{v_F A_x F}{x} \right\} \quad (4)$$

ضرایب پخش بصورت $CF\mu/\rho U_F$ می باشد، که C_F یک ثابت است. این ترمهای پخش تنها برای اختلاط آشفته سیال که توزیع آنها با تابع F بیان می شود، کاربرد دارد. $FSOR$ برابر با نرخ زمانی تغییرات تابع حجم یک سیال که همراه با منبع جرم برای آن است، می باشد. برای یک سیال منفرد، F بیانگر جمع حجم اشغال شده با سیال است، بنابراین جاهایی که $F=1$ است از سیال و جاهایی که $F=0$ است از حباب و حفره اشغال شده اند. نواحی حبابی و خالی نواحی هستند که جرم سیال وجود ندارد و یک فشار یکنواختی حاکم است (هرت و نیکولس 1981).

صحت سنجی مدل عددی

برای کالیبراسیون و صحت سنجی مدل عددی از داده های آزمایشگاهی مدل هیدرولیکی سرریز سد جره موجود در موسسه تحقیقات آب استفاده گردیده است. کلیه آزمایش ها بر روی مدل هیدرولیکی یک سرریز سه جانبی انجام گردیده است. طول کل تاج سرریز 2 متر بوده که وجه بالادست آن قوسی از یک دایره به شعاع 41/24 سانتی متر و زاویه مرکزی 164 درجه و طول 1/18 متر می باشد. وجوه جانبی از خطوط مستقیم که هریک به طول 41 سانتی متر و با زاویه ثابت 8 درجه به تدریج باز می گردند تشکیل شده است. همچنین یک آبپایه به شکل یک چهارم بیضی در انتهای کانال جانبی قرار دارد. کارشناسان هیدرولیک با آزمایش و کسب تجربیات، حداقل عمق مجاز آب روی سازه در مدل را 3 سانتی متر تعریف کرده اند (نوواک 1981). با توجه به اینکه به ازای دبی 11 لیتر بر ثانیه، عمق آب بر روی سرریز 2/2 سانتی متر می باشد و همچنین دبی طراحی در مدل 177 لیتر بر ثانیه است، این دو دبی به عنوان حداقل و حداکثر دبی انتخاب شدند. از این رو نتایج آزمایشگاهی دبی های 11، 55، 113 و 177 لیتر بر ثانیه مورد استفاده قرار گرفته شده است.



ب) شبکه بندی مدل عددی

الف) مرزهای جامد مدل عددی (سرریز سه جانبی سد جره)

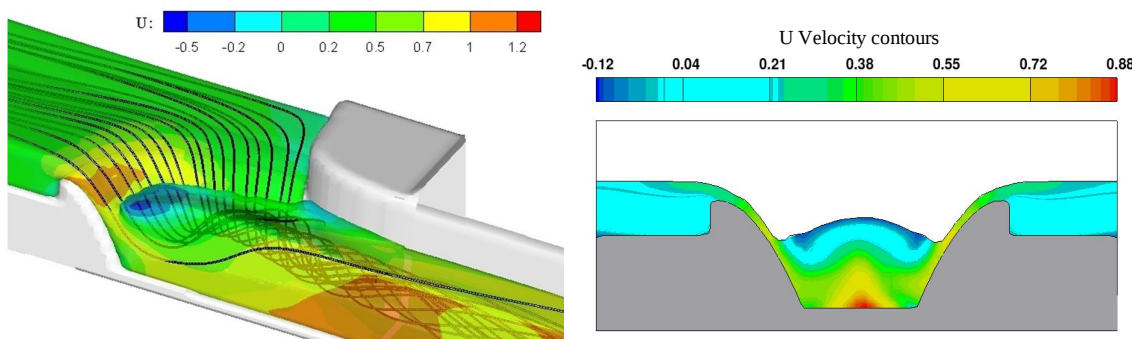
شکل 2 - مرزهای جامد و شبکه بندی مدل عددی (U1)

جدول 1- مشخصات شبکه بندی، شرایط مرزی بکار رفته والگوریتم انفصال معادلات

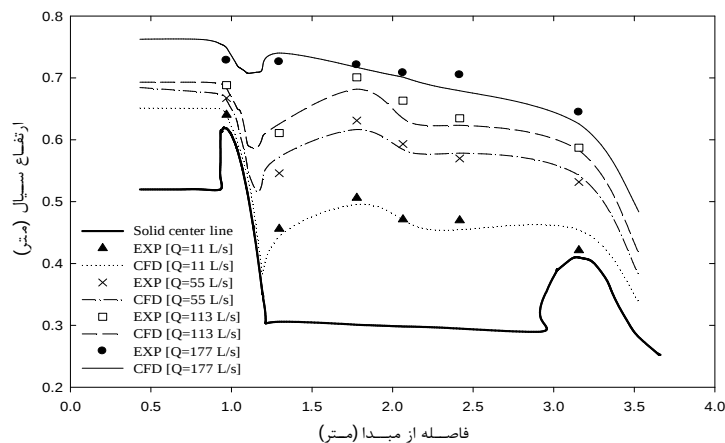
VOF	نوع مدل	
0/05	متوسط اندازه مش (متر)	شبکه
متغیر در هر مدل	تعداد حجم های محاسباتی	
Solid	بدنه سرریز	
Symmetry	مرزهای کناری	شرایط مرزی
Specified Velocity	ورودی	
Outlet	خروجی	
RNG	مدل آشفتگی	
GMRES	الگوریتم حل معادلات فشار	معادلات
الگوی حجم سیال	مدل سطح آزاد	
0/01	گام های زمانی حل (ثانیه)	

پروفیل طولی جریان در محور مرکزی کانال جانبی

نتایج حاصله نشان می دهد که این مدل در تعیین پروفیل سطح آب در طول کانال جانبی از دقت بسیار مناسبی برخوردار است. با توجه به شکل شماره 3، پروفیل جریان پس از عبور از تاج سرریز وارد کانال جانبی می شود و در اثر تداخل با سرفه های ریزشی جانبی، مومتم جریان ورودی در جهت عمود بر جریان محوری به فشار تبدیل شده و به صورت افزایش عمق جریان خودنمایی می نماید. با توجه به مقادیر عددی پروفیل جریان، بیشترین خطا در محاسبات از لحاظ مکانی در ناحیه تشکیل گرده مایی مشاهده شده است. با مشاهده نوسانات فشار در این ناحیه مشخص می شود که این ناحیه دارای آشفتگی شدید جریان بوده و ناحیه پرتلاطمی است و میزان خطای وارده را می توان به همین خاطر دانست. به لحاظ عدد فرود ورودی بیشترین خطا در دبی 11 لیتر بر ثانیه رخ داده است. مهمترین عامل در کاهش نوسانات فشار و بهبود جریان، افزایش عمق جریان در کانال جانبی است. پس می توان گفت در دبی های پایین چون عمق جریان در کانال جانبی کم است دارای اغتشاش و نوسانات زیادی هستیم که منجر به خطا نسبتا قابل توجهی می شود.



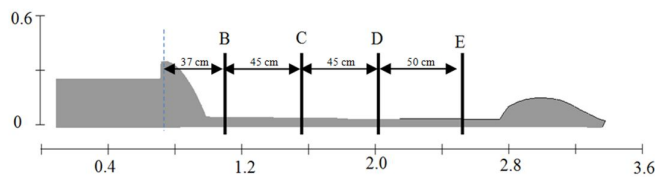
شکل 3 - نحوه شکل گیری جریان بر روی سرریز (دبی 55 L/s)



شکل 4 - مقایسه پروفیل سطح آب در محور مرکزی بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج عددی

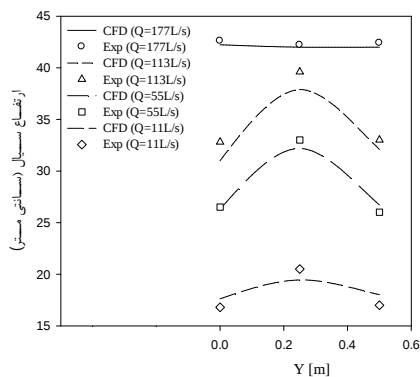
پروفیل عرضی جریان

با توجه به داده‌های آزمایشگاهی در دسترس و اینکه، با توجه به اینکه جریان 3 بعدی است، در مدل عددی همراه مقادیر پروفیل جریان در کل طول سرریز در محور مرکزی، در مقاطع B, C, D, E و، پروفیل عرضی جریان نیز برداشت شده است (شکل 5).

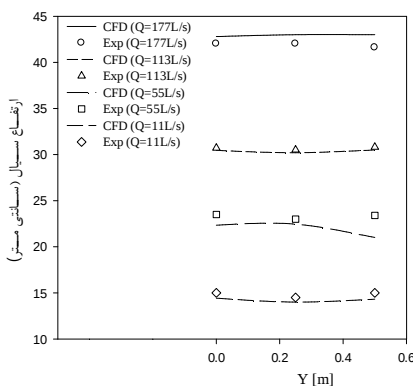


شکل 5 - مقاطع برداشت پروفیل عرضی جریان

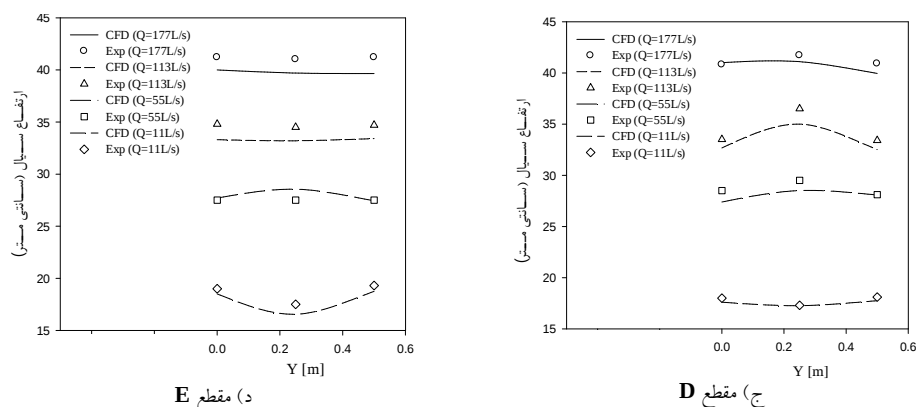
با توجه به شکل شماره 6، بیشترین اختلاف ارتفاع عرضی جریان بین محور مرکزی و کناره‌های کانال جانبی در ابتدای کانال جانبی می‌باشد. دلیل این مسئله اینست که بیشترین تداخل جریان جانبی با جریان عمودی در این ناحیه رخ می‌دهد و به تدریج با پیش‌روی در امتداد جریان این اختلاف کاهش یافته و به میزان یکسان میل می‌کند.



ب) مقطع C



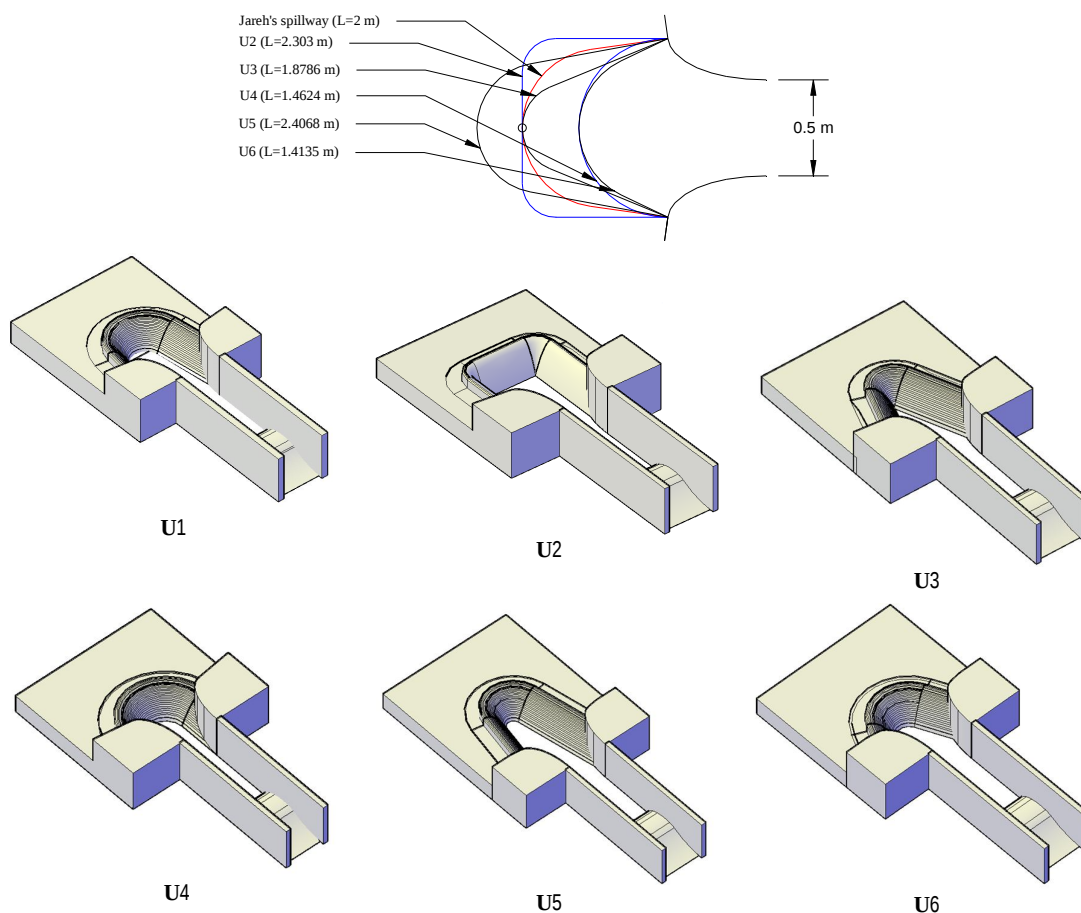
الف) مقطع B



شکل 6 - مقادیر عمق جریان در مقاطع عرضی

مدل‌های مورد بررسی

در این تحقیق مجموعاً از 6 سرریز سه‌جانبی با اشکال مختلف استفاده شده است. مدل سه بعدی Solid این سرریزها ایجاد شده و به فرمت قابل اجرای نرم‌افزار تبدیل شده است. مدل شماره 1 مربوط به سرریز سه‌جانبی سد جره می‌باشد. پروفیل سرریزها Ogee بوده و هندسه آنها در شکل شماره 7 نشان داده شده است.



شکل 7 - هندسه سرریزهای مورد بررسی

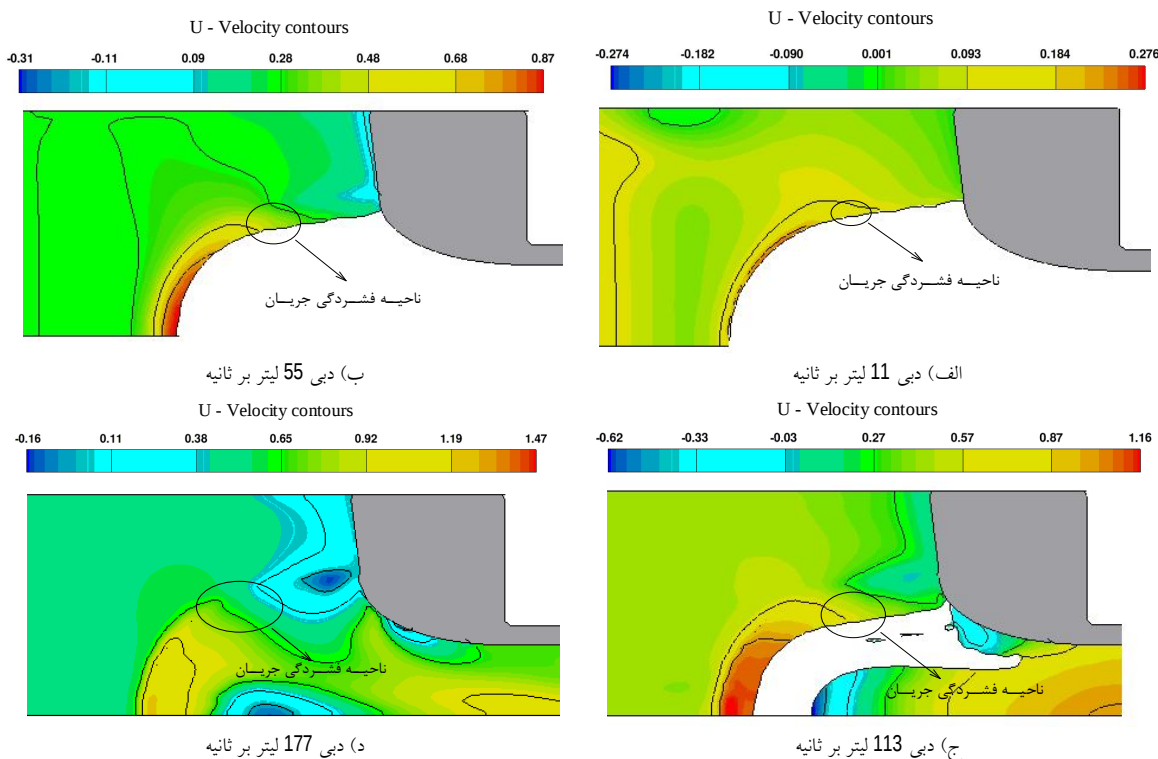
تحلیل نتایج

الگوی جریان

ویژگی‌های هیدرولیکی بوجود آمده برای جریان در داخل کانال جانبی سرریزهای سه‌جانبی ناشی از دو نوع جریان ورودی می‌باشد. جریان اول، جریان‌های ورودی در جهت عمود بر محور اصلی کانال جانبی و جریان دوم نیز جریان جانبی ریزشی از بازوهای کناری سرریز می‌باشند. در محدوده مرکزی کانال جانبی سرریز، یک برآمدگی در سطح جریان (گرده ماهی) تشکیل می‌شود که عامل اصلی آن برخورد جریان‌های ورودی در این محدوده می‌باشد. مومنتم جریان‌های ورودی در جهت عمود بر جریان محوری (در محدوده این محور) به علت برخورد با یکدیگر، به فشار تبدیل شده و سپس به صورت افزایش عمق جریان خودنمایی می‌کند.

بررسی طول موثر تاج در دبی‌ها مختلف

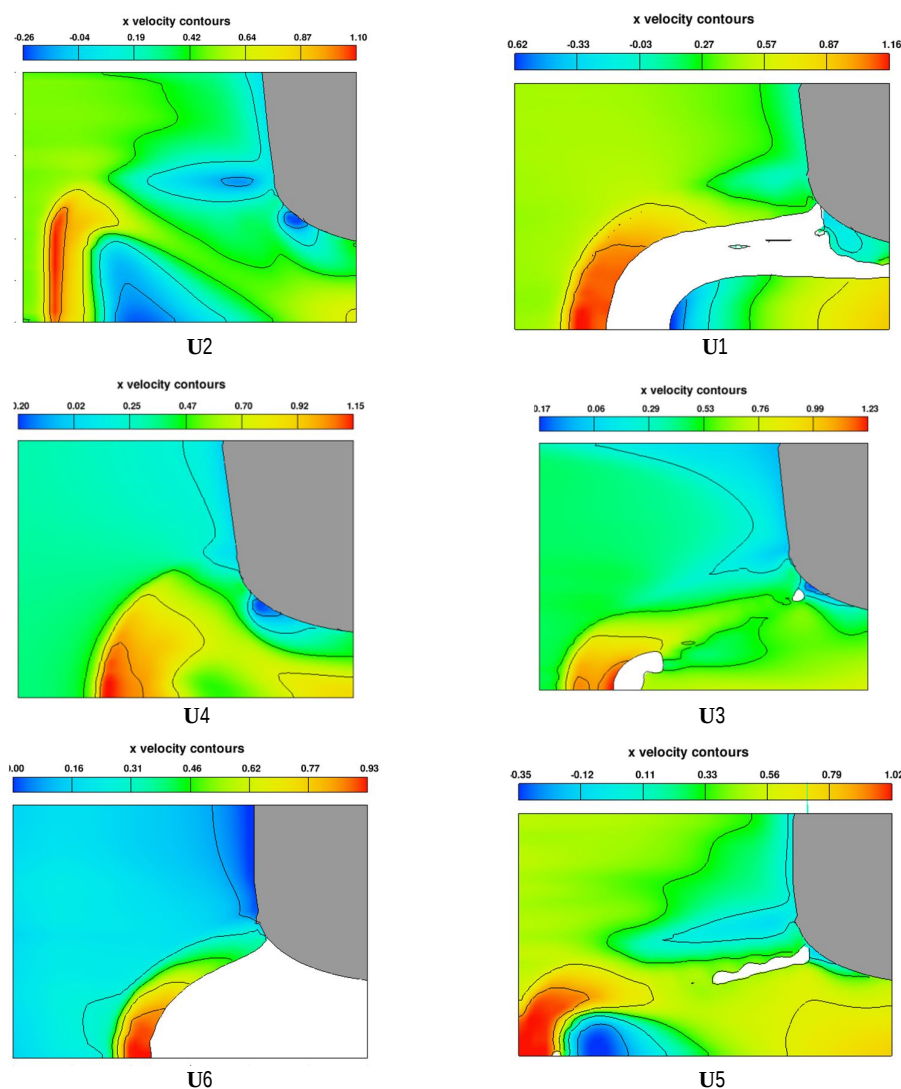
در دبی‌های پایین، با توجه به اینکه تداخل بین لایه‌های ریزشی جریان کم است، تمام طول سرریز وظیفه انتقال جریان را انجام می‌دهد. با افزایش دبی جریان، در ناحیه اطراف تاج سرریز فشردگی بین لایه‌های ریزشی جریان باعث کاهش طول موثر تاج سرریز می‌شود. در شکل شماره 8 منحنی‌های هم تراز سرعت در پلان سرریز در ارتفاع نزدیکی تاج سرریز نشان داده شده است که این کاهش طول موثر تاج را می‌توان با منحنی‌های هم تراز سرعت در جهت X مشاهده کرد.



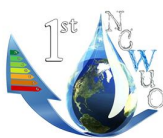
شکل 8- منحنی‌های هم تراز سرعت در پلان سرریز (U1)

بررسی طول موثر تاج در سرریزهای مختلف

سرریز های با طول زیاد کمترین کاهش طول موثر تاج را از خود نشان می دهند. دلیل این مسئله این است که در طول تاج زیاد، جریان فضای کافی را برای تخلیه دارد و دچار فشردگی نمی شود. در شکل مختلف پلان سرریزها، سرریزهایی که دارای باله های کناری طولی باشند کمترین اثر را از فشردگی جریان متحمل می شوند و عملکرد مناسبی را نشان می دهند. شکل شماره 9 نشان دهنده منحنی های هم تراز سرعت در جهت x در دبی 113 لیتر بر ثانیه برای مدل های مورد بررسی است. منحنی های هم تراز نشان داده شده در شکل 9، در یک تراز یکسان و نزدیک تاج سرریز برای مشاهده مناسب ناحیه فشردگی جریان رسم شده اند.



شکل 9 - منحنی های هم تراز سرعت در پلان سرریزهای مورد بررسی در دبی 113 لیتر بر ثانیه



مطابق جدول شماره 2 این تیپ سرریزها برای بارهای آبی کم جریان بر روی تاج، عملکرد مناسبی از خود برای آبگذری جریان نشان می دهند و با افزایش میزان جریان از میزان آبگذری آنها کاسته می شود تا در نهایت مانند یک سرریز نرمال عمل می کنند. حتی ممکن است جریان های ریزشی از روی تاج تحت تاثیر جریان داخل کانال جانبی این سرریزها قرار گرفته و از میزان آبگذری آنها بیشتر بکاهد.

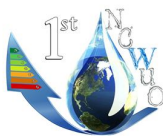
همانگونه که از جدول شماره 2 برداشت می شود، سرریز شماره 5 بهترین عملکرد را از لحاظ آبگذری از خود نشان داده است و مقادیر کمی از کاهش طول موثر تاج سرریز را نشان داده است. یکی از مهمترین دلایل این امر این است که سرریز شماره 5 مانند دو سرریز جانبی مقابل هم عمل می کند و تنها ناحیه بسیار کوچکی از تاج سرریز وظیفه انتقال نرمال جریان را دارد که این مسئله باعث تداخل ناچیز این دو نوع جریان ورودی به کانال جانبی می شود.

جدول 2- مقادیر درصد کاهش طول موثر تاج سرریز در سرریزها و دی های مختلف

U2					U1				
H ₀ /P	Q(L/s)	L(m)	L'(m)	L' (%)	H ₀ /P	Q(L/s)	L(m)	L'(m)	L' (%)
0/06	11	2/30	0/79	34/10	0/05	11	2	0/50	25/16
0/15	55	2/30	0/59	25/79	0/17	55	2	0/80	40/19
0/19	80	2/30	0/67	29/01	0/22	80	2	0/89	44/57
0/24	113	2/30	0/75	32/49	0/27	113	2	0/84	42/06
0/46	177	2/30	1/89	59/73	0/38	177	2	0/93	46/63
U4					U3				
H ₀ /P	Q(L/s)	L(m)	L'(m)	L' (%)	H ₀ /P	Q(L/s)	L(m)	L'(m)	L' (%)
0/08	11	1/46	0/85	58/18	0/06	11	1/88	0/62	32/77
0/22	55	1/46	0/88	59/94	0/18	55	1/88	0/87	46/45
0/29	80	1/46	0/89	60/90	0/23	80	1/88	0/87	46/30
0/34	113	1/46	0/87	59/73	0/29	113	1/88	0/90	48/16
0/58	177	1/46	1/06	72/29	0/45	177	1/88	1/11	59/22
U6					U5				
H ₀ /P	Q(L/s)	L(m)	L'(m)	L' (%)	H ₀ /P	Q(L/s)	L(m)	L'(m)	L' (%)
0/06	11	1/41	0/62	36/63	0/04	11	2/41	0/01	8/31
0/16	55	1/41	0/42	29/93	0/16	55	2/41	0/66	27/33
0/21	80	1/41	0/57	40/41	0/19	80	2/41	0/72	29/89
0/28	113	1/41	0/63	44/39	0/25	113	2/41	0/97	33/01
0/44	177	1/41	0/81	57/65	0/40	177	2/41	1/22	50/56

نتیجه گیری

در این مطالعه با شبیه سازی عددی جریان بر روی سرریزهای سه جانبی به بررسی طول موثر تاج این سرریزها پرداخته و نتایج زیر حاصل شده است:



- این تیپ سرریزها بهتر است برای بارهای آبی کم جریان طراحی شوند تا وظیفه اصلی خود را که بالا بردن میزان آبگذری جریان است به نحو مناسبی انجام دهند.
- در ارتفاعهای زیاد جریان بر روی تاج، طول موثر تاج کاهش یافته و به مقدار ثابتی میل خواهد کرد.
- نتایج نشان می دهند که استفاده از بازوهای کناری مایل طویل، تاثیر مناسبی بر میزان ضریب آبگذری ایجاد می کند.
- سرریزهائی که شکل آنها به حالت U کامل نزدیک می باشد، به دلیل تداخل شدید لایه های ریزشی جریان، جریان از کانال جانبی آنها با تاخیر تخلیه شده و در دبی های بالا سریعاً مستغرق می شود.
- بیشترین ناحیه ای که کاهش طول موثر طول سرریز در آن رخ می دهد قسمتی است که دو بازوی کناری و قسمت نرمال (عمود بر محور مرکزی کانال جانبی) به هم متصل می شوند. با کاهش این ناحیه و اتصال کوتاه این دو قسمت می توان از کاهش طول موثر کاهش داد. این کار در مدل شماره 5 به نحوه مناسبی انجام شده است.

منابع

- A. Montazar. and S.A.A. Salehi Neyshabouri, (2006), "Impact of Some Parameters Affecting the Hydraulic Performance of U-shaped Side Spillway", Can. J. Civ. Eng. 33:552-560
- Berman, Roger. Willi H, Hager; "Experiments in Side Channel Spillways" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE; Vol.115, No.5, May 1989, P.617-635.
- Bradshaw P. "The Understanding and Prediction of Turbulent Flow" (1996). Int J Heat Fluid Flow
- Farney, H.S., Markus, A. "Side Channel Spillway Design"; J. Hydr. Engrng. ASCE; Vol. 88, No.3, 1962, P.131-154.
- Ferziger, J., Peric, M., 1996. "Computational methods for fluid dynamics". Springer Verlag
- Hirt, C. and Nichols, B., 1981. "Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries". J.
- http://www.flow3d.com/resources/tech_paper/res_tp_main.html
- Knight, Arthur C.E; "Design of Efficient Side Channel Spillway "; J.Hydr. Engrng., ASCE; 115(9): 1275-1289.
- Kouchakzadeh, S., and Vatankhah Mohammad-Abadi, A.R. 2002. "Spatially varied flow in non-prismatic channels": dynamic equation. Irrigation and Drainage (Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage), 51(1): 41-50.
- US Bureau of Reclamation. 1974. Design of small dams. 2nd ed. US Government Printing Office, Washington, D.C
- Water Research Center. 1994. Final report of hydraulic model of Shahid Yaaghoobi. Ministry of Energy of Iran, Iran. Report 161. [In Farsi.]
- Water Research Center. 1996. Final report of hydraulic model of Jareh. Ministry of Energy of Iran, Iran. Report 268. [In Farsi.]
- Ye, B.c. and Wenzel, H.G.; "Dynamic Equations for Steady Spatially Varied Flow"; J. Hydr. DiV., ASCE, No.3, 1966, P.801-814.