

ارتقای بهره‌وری آب در سرریزهای سه جانبی با تمرکز بر طول مؤثر تاج آنها

حامد تقی‌زاده¹، سید علی اکبر صالحی نیشابوری²، عباس نقوی³، امین حسنی⁴، رضا الهیاری⁵

- 1- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، شرکت مهندسی مشاور ترازآب جامع، تبریز
- 2- استاد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران
- 3- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، شرکت مهندسی مشاور ترازآب جامع، گرگان
- 4- دانشجوی دکتری مهندسی عمران، مدیریت منابع آب، شرکت آب منطقه‌ای استان گلستان، گرگان
- 5- کارشناس ارشد مهندسی عمران، سازه‌های هیدرولیکی، شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، تبریز

* aminh85@yahoo.com

چکیده - سرریزهای چندوجهی، سازه‌های هیدرولیکی مهم در تنظیم سطح آب و کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها به شمار می‌آیند. 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. با توجه به اهمیت بحث ارتقای بهره‌وری آب در سازه‌های هیدرولیکی، لزوم یافتن هندسه مناسب برای این نوع سرریزها همواره مسأله مهمی برای طراحان بوده است. در این تحقیق با هدف قرار دادن طول مؤثر تاج این نوع سرریزها، به مدل‌سازی عددی چند طرح پلان این سرریزها پرداخته شده است. نتایج حاکی از این است که طرح پلان‌های دارای ناحیه تداخل جریان‌های نرمال و جانبی بیشتر، بالاترین میزان کاهش طول مؤثر تاج سرریز را از خود نشان داده‌اند. همچنین مدل سرریز شماره 5 به علت دارا بودن تنها یک ناحیه تداخل جریان‌های نرمال و جانبی و نیز فشردگی ناچیز جریان‌های ریزشی به علت دارا بودن بازوان کناری طویل، به عنوان نمونه مناسبی از لحاظ عملکرد آنگذری معرفی شده است.

کلیدواژگان: کنترل جریان، طول مؤثر تاج سرریز، مدل‌سازی عددی، نرم‌افزار Flow-3D

1- مقدمه

ساخت یک مدل هیدرولیکی و تغییر پارامترهای مؤثر 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 است، به طوری که نمی‌توان 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 تفاوت‌هایی بین جریان در کانال‌های جانبی این دو نوع سرریز وجود دارد.

سرریزهای سه جانبی از جمله مجراهای تخلیه کننده سدها هستند که با وجود محدودیت‌های هیدرولیکی، در شرایط خاص توپوگرافی به عنوان بهترین انتخاب مطرح می‌شوند. در مناطقی که محدود کردن ارتفاع سد با طولیل شدن تاج سرریز همراه است و تکیه‌گاه دارای شیب تند و به صورت پرتگاه بوده 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 شده با

جزئی‌تری روی این سرریزها انجام دادند. مهمترین یافته‌های آزمایشگاهی این محققان را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

- تلاطم جریان و نوسانات فشار روی محور مرکزی کانال جانبی نسبت به سایر نقاط داخل کانال کمتر است.

- افزایش دبی ورودی به سرریز (عدد فرود)، باعث کم شدن نوسانات فشار و به تعبیری بهبود وضعیت جریان در کانال جانبی سرریز می‌شود.

- مهمترین عامل در کاهش میزان نوسانات فشار و بهینه‌سازی وضعیت جریان، افزایش عمق جریان در کانال جانبی سرریز است.

- افزایش ارتفاع آبپایه، تأثیر چشمگیری در کاهش تلاطم جریان و نوسانات فشار داخل کانال جانبی سرریز دارد.

- تغییر محل آبپایه در فاصله بین ابتدای کانال جانبی تا ابتدای تنداب، تأثیر چندانی در میزان شدت آشفتگی ندارد.

- با افزایش شیب کف کانال جانبی سرریز در جهت منفی، نوسانات فشار کم شده و جریان در کانال پخش می‌شود. با افزایش شیب کف در جهت مثبت، تا حدودی (حدود 3 درصد) کاهش نوسانات ادامه داشته و با افزایش از این حدود، نوسانات روندی صعودی به خود خواهند گرفت.

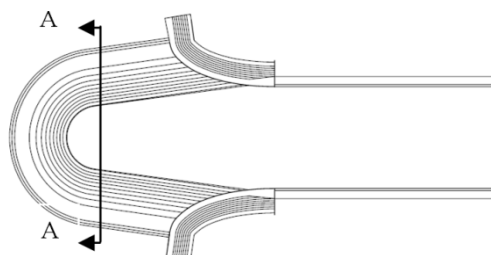
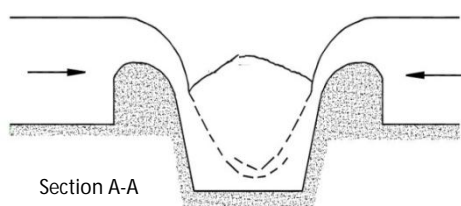
دانشبد و طالب بیدختی (1388) بوسیله مدل عددی Fluent، جریان بر روی سرریز سه‌جانبی سد سیوند را مدل‌سازی کردند. البته مطالعات ایشان بیشتر متوجه مدل‌های آشفتگی، روش‌های حل معادلات حاکم و کارایی مدل عددی بوده است.

در مقاله حاضر، در راستای ارتقای بهره‌وری آب در سرریزهای سه‌جانبی از شبیه‌سازی عددی جریان توسط نرم‌افزار Flow-3D بهره گرفته شده است.

همان‌طور که در شکل 1 دیده می‌شود، در سرریزهای سه‌جانبی، جریان از قسمت ابتدائی تاج سرریز (بخش قوسی آن)، که مؤلفه سرعت در جهت جریان در داخل کانال جانبی سرریز دارد، به جریان آب داخل کانال کمک می‌کند. این جریان سعی در خارج نمودن و انتقال هر چه سریعتر امواج آشفتگی‌های داخل کانال به روی تنداب دارد، حال آنکه لازم است آشفتگی‌های داخل کانال جانبی (حوضچه) از بین رفته و جریان مستهلک شده وارد تنداب شود. در کانال آب‌بر سرریزهای جانبی، عمق آب در کنار دیواره‌هایی که ریزش در آنها صورت می‌گیرد، کمتر از طرف دیگر آن است، در صورتی که در کانال‌های سرریزهای سه‌جانبی، عمق آب در محور مرکزی کانال افزایش می‌یابد و به شکل یک گرده‌ماهی در می‌آید.

تاکنون مطالعات محدودی در مورد عملکرد هیدرولیکی سرریزهای سه‌جانبی صورت گرفته است و اغلب کارهای انجام شده به مسأله بهبود و اصلاح عملکرد هیدرولیکی جریان روی این سرریزها پرداخته است. از مطالعات انجام شده در ارتباط با سرریزهای سه‌جانبی می‌توان به مطالعات Farney (1962)، Knight (1989) و مطالعات مؤسسه تحقیقات آب (1373 و 1375) اشاره کرد. مطالعات مؤسسه 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. مطالعات Farney (1962) و Knight بر روی ضریب تخلیه و میزان آبگذری مدل‌هایی از این سرریزها انجام شده‌اند.

Montazer and Salehi (2006) به مطالعه آزمایشگاهی و کلاسیک بر روی تعدادی از پارامترهای مؤثر 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 مؤثر، مطالعات



شکل 1 پلان و پروفیل یک سرریز سه‌جانبی (Montazar and Salehi Neyshabouri, 2006)

2- معادلات حاکم

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 (Hirt and Nichols, 1981).

$$\frac{\partial}{\partial x}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F}(U_i A_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j}) = \frac{-1}{\rho} \frac{\partial P'}{\partial x_i} + g_i + f_i \quad (2)$$

در معادلات فوق، متغیرهای w, v, u به ترتیب سرعت در راستای x, y و z می‌باشند. V_F نسبت حجم مایع در هر المان و مقادیر A_x, A_y و A_z مساحت جزئی از وجوه هر المان است که سیال در آن حضور دارد. ρ چگالی سیال، فشار، P' شتاب گرانش در راستای i و f_i تنش رینولدز است. در المان‌هایی که از مایع پر باشند مقادیر V_F و A مساوی 1 بوده و معادلات به معادلات پایه RANS برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر تبدیل می‌شوند. در تعیین سطح آزاد به روش حجم سیال از یک تابع به نام جزء حجم سیال F استفاده می‌شود. شکل دیفرانسیلی تابع F در حالت سه بعدی توسط رابطه (3) بیان می‌شود (Hirt and Nichols, 1981).

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

3- صحت‌سنجی مدل عددی

3-1- مشخصات مدل عددی

برای کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل عددی از داده‌های آزمایشگاهی مدل هیدرولیکی سرریز سد جره (1375) موجود در مؤسسه تحقیقات آب استفاده شده است. تمام آزمایش‌ها بر روی مدل هیدرولیکی یک سرریز سه‌جانبی انجام شده است. طول کل تاج سرریز 2 متر بوده که وجه بالادست آن قوسی از یک دایره به شعاع 41/24 سانتی‌متر و زاویه مرکزی 164 درجه و طول 1/18 متر می‌باشد. وجوه جانبی از خطوط مستقیم که هر یک به طول 41 سانتی‌متر و با زاویه ثابت 8 درجه به تدریج باز می‌شوند، تشکیل شده است. همچنین یک آبپایه به شکل یک‌چهارم بیضی در انتهای کانال جانبی قرار دارد. کارشناسان

هیدرولیک با آزمایش و تجربه، حداقل عمق مجاز آب روی سازه در مدل را 3 سانتی‌متر تعریف کرده‌اند (نوواک 1981). با توجه به اینکه به ازای دبی 11 لیتر بر ثانیه، عمق آب بر روی سرریز 2/2 سانتی‌متر می‌باشد و همچنین دبی طراحی در مدل 177 لیتر بر ثانیه است، این دو دبی به عنوان حداقل و حداکثر دبی انتخاب شدند. از این‌رو نتایج آزمایشگاهی دبی‌های 11، 55، 113 و 177 لیتر بر ثانیه مورد استفاده قرار گرفت. در شکل 2 مرزهای جامد و شبکه‌بندی مدل عددی و در جدول 1 مشخصات شبکه‌بندی، شرایط مرزی بکار رفته و الگوریتم انفصال معادلات ارائه شده است.

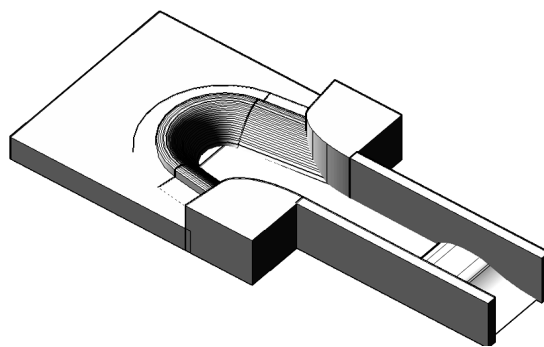
جدول 1 مشخصات شبکه‌بندی، شرایط مرزی بکار رفته و

الگوریتم انفصال معادلات

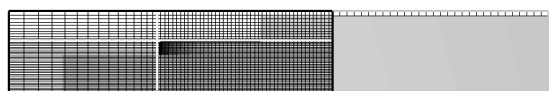
VOF	نوع مدل	
0/05	متوسط اندازه شبکه (متر)	شبکه
	تعداد حجم‌های محاسباتی	متغییر در هر مدل
Solid	بدنه سرریز	
Symmetry	مرزهای کناری	شرایط
Specified Velocity	ورودی	مرزی
Outlet	خروجی	
RNG	مدل آشفتگی	
GMRES	الگوریتم حل معادلات فشار	معادلات
	مدل سطح آزاد	الگوی حجم سیال
0/01	گام‌های زمانی حل (ثانیه)	

3-2- پروفیل طولی جریان در محور مرکزی کانال جانبی

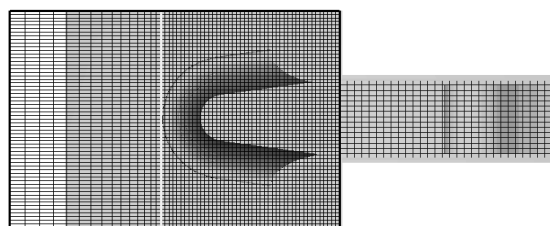
با توجه به شکل 3، پروفیل جریان پس از عبور از تاج سرریز وارد کانال جانبی می‌شود و در اثر تداخل با سفره‌های ریزشی جانبی، مومنتم جریان ورودی در جهت عمود بر جریان محوری به فشار تبدیل شده و به صورت افزایش عمق جریان ظاهر می‌شود. مقایسه پروفیل سطح آب در محور مرکزی بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج عددی در شکل 4 نمایش داده شده است. با توجه به مقادیر عددی پروفیل جریان، بیشترین خطا در محاسبات از لحاظ مکانی در ناحیه تشکیل گرده‌ماهی مشاهده شده است.



الف) مرزهای جامد مورد استفاده در مدل عددی (سرریز سه‌جانبی سد جره)

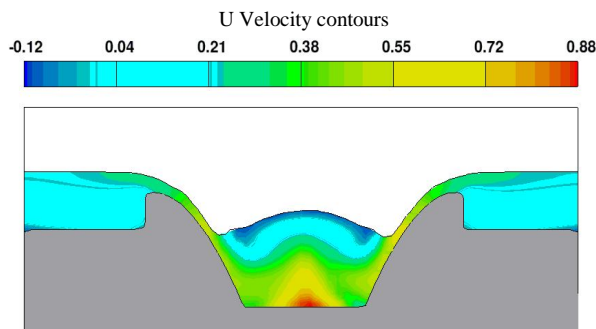
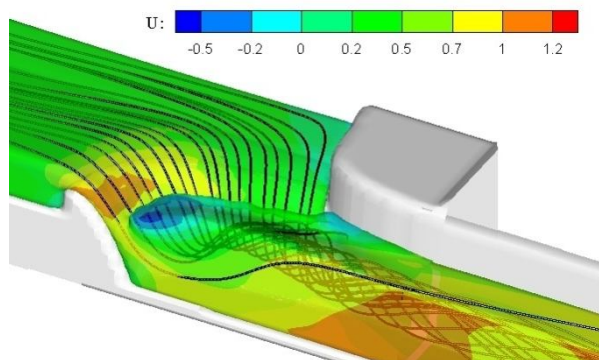


ج) شبکه بندی در پروفیل

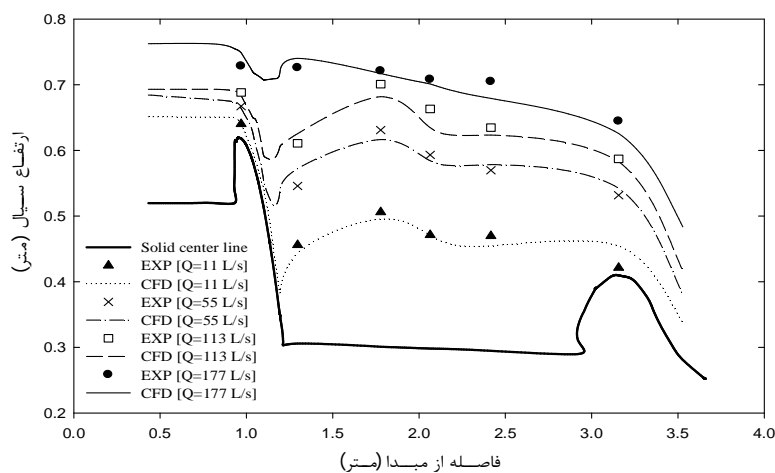


ب) شبکه بندی در پلان

شکل 2 مرزهای جامد و شبکه‌بندی مدل عددی (U1)



شکل 3 نحوه شکل‌گیری جریان بر روی سرریز (دبی 55 لیتر بر ثانیه)



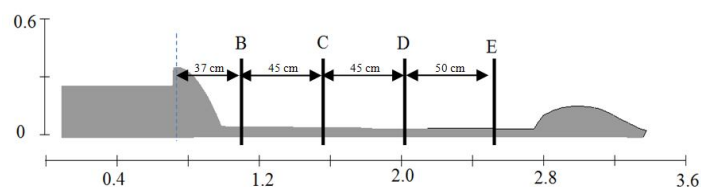
شکل 4 مقایسه پروفیل سطح آب در محور مرکزی بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج عددی (مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو، 1375)

3-3- پروفیل عرضی جریان

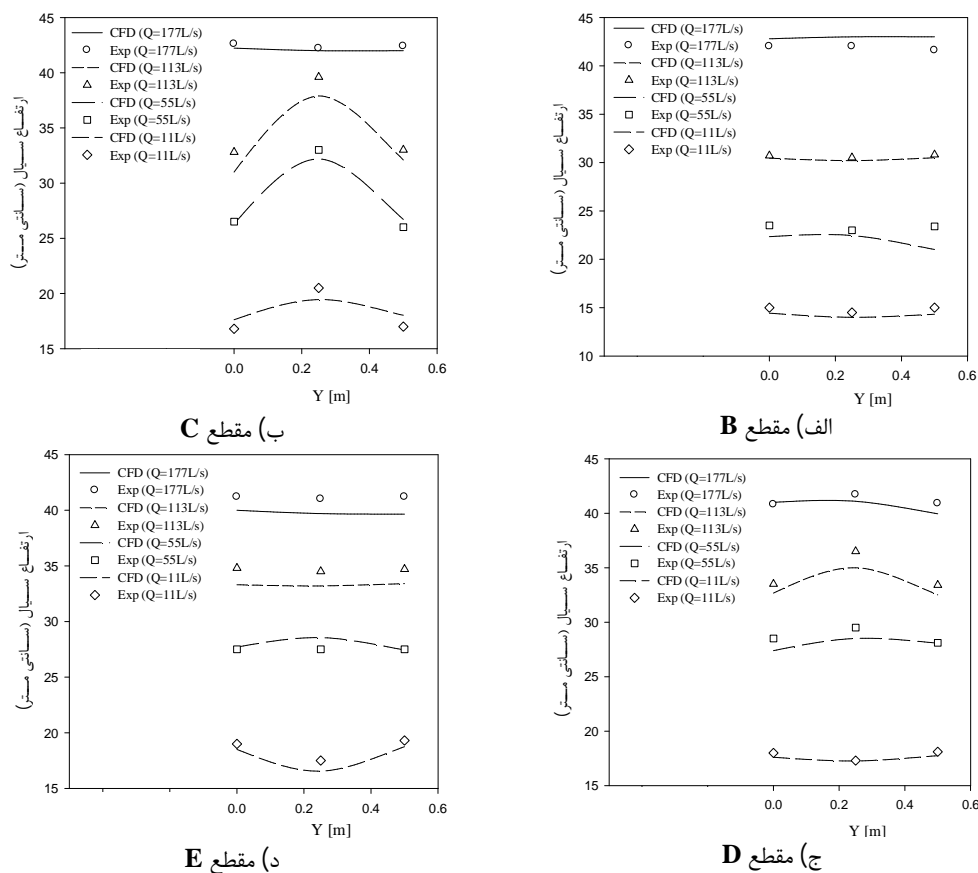
با توجه به داده‌های آزمایشگاهی در دسترس و سه بعدی بودن جریان، در مدل عددی همراه با مقادیر پروفیل جریان در کل طول سرریز در محور مرکزی، در مقاطع B، C، D و E، پروفیل عرضی جریان نیز برداشت شده است (شکل 5).

با توجه به شکل 6، بیشترین اختلاف ارتفاع عرضی جریان بین محور مرکزی و کناره‌های کانال جانبی در ابتدای کانال جانبی می‌باشد.

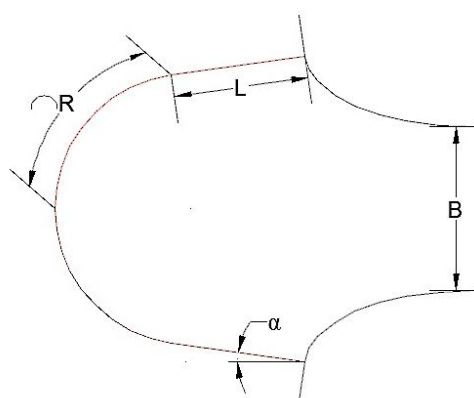
با مشاهده نوسانات فشار در این ناحیه مشخص می‌شود که این ناحیه دارای آشفتگی شدید جریان بوده و ناحیه پرتلاطمی است و میزان خطای وارده را می‌توان به همین خاطر دانست. به لحاظ عدد فرود بیشترین خطا در دبی 11 لیتر بر ثانیه رخ داده است. مهمترین عامل در کاهش نوسانات فشار و بهبود جریان، افزایش عمق جریان در کانال جانبی است. پس می‌توان گفت در دبی‌های پایین چون عمق جریان در کانال جانبی کم است جریان دارای اغتشاش و نوسانات زیادی بوده که منجر به خطای نسبتاً قابل توجهی می‌شود.



شکل 5 مقاطع برداشت پروفیل عرضی جریان (مؤسسه تحقیقات آب و وزارت نیرو، 1375)



شکل 6 مقایسه عمق جریان در مقاطع عرضی بین داده‌های آزمایشگاهی و نتایج عددی (مؤسسه تحقیقات آب و وزارت نیرو، 1375)



شکل 7 ویژگی‌های هندسی سرریز سه‌جانبی

دلیل این مسأله این است 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. در مجموع نتایج حاصل نشان می‌دهد که این مدل در تعیین پروفیل سطح آب در طول کانال جانبی از دقت بسیار مناسبی برخوردار است.

4- مطالعات پارامتریک

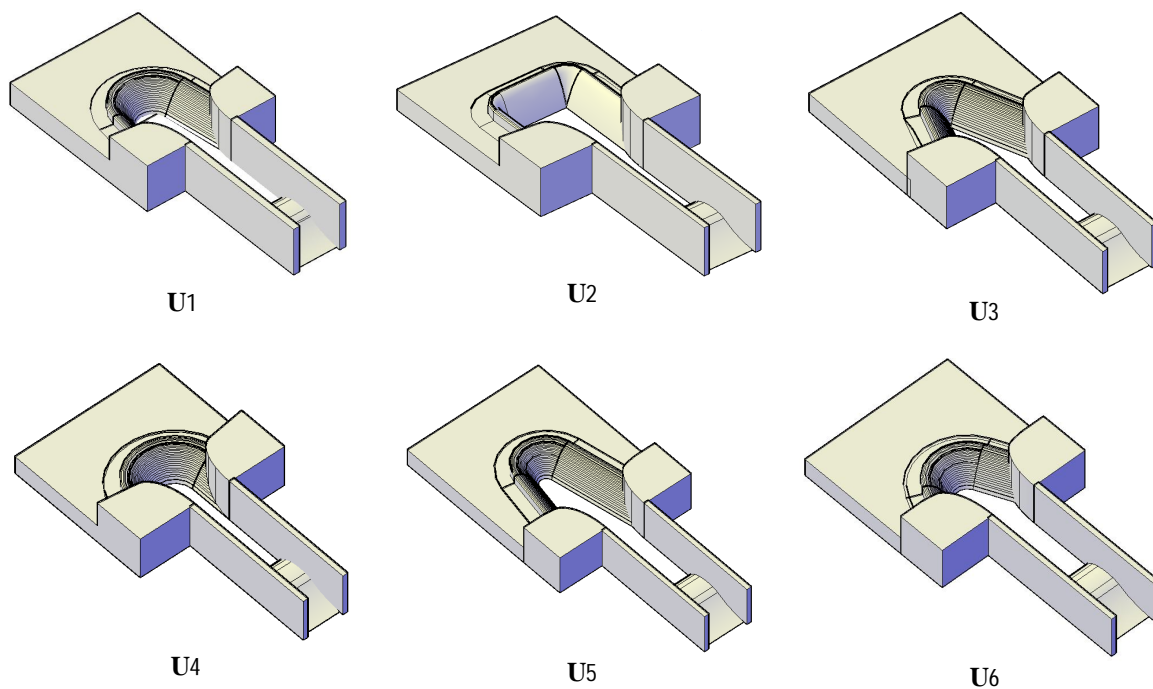
4-1- مدل‌های مورد بررسی

با توجه به عملکرد مناسب مدل عددی در مرحله صحت‌سنجی به منظور بررسی روش‌های ارتقای بهره‌وری سرریزهای جانبی، در این تحقیق مجموعاً از 6 سرریز سه‌جانبی با اشکال مختلف استفاده شده است. مدل شماره 1 مربوط به سرریز سه‌جانبی سد چره می‌باشد. در جدول 2 مشخصات هندسی سرریزهای مورد مطالعه با توجه به شکل 7 نشان داده شده‌اند.

نمای سه بعدی مدل‌های مورد بررسی در این تحقیق در شکل 8 نشان داده شده است.

جدول 2 ویژگی‌های هندسی سرریزهای مورد بررسی

Spillway No.	L (m)	B (m)	R (m)	α^0	Total Length (m)
1	0/41	0/50	0/59	8	2
2	0/586	0/50	0/566	0	2/303
3	0/67	0/50	0/27	22/31	1/8786
4	0	0/50	0/731	-	1/4624
5	0/732	0/50	0/471	10/38	2/4068
6	0/271	0/50	0/435	25/43	1/4135



شکل 8 هندسه سرریزهای مورد بررسی

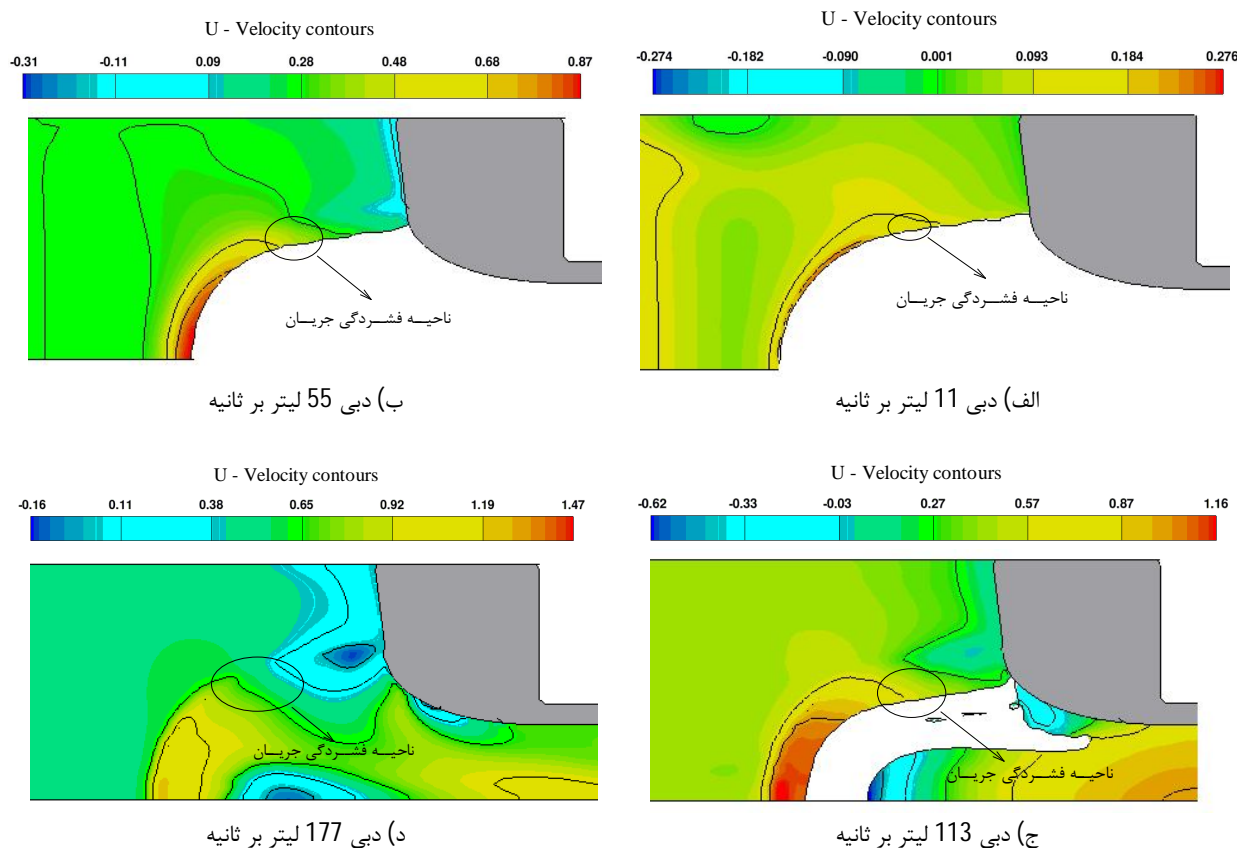
آبگذری این سرریزها است. این پارامتر بر اساس طول واقعی سرریز و کاهش طول آن با افزایش دبی تعریف شده است. بدین صورت که اگر سرریز در یک پلان خطی قرار گرفته است، با ایجاد تغییرات در پلان آبگذری کاسته خواهد شد و این کاهش حاصل کاهش طول مؤثر تاج سرریز می‌باشد. در دبی‌های پایین، با توجه به اینکه تداخل بین لایه‌های ریزشی کناری سرریز می‌باشند. در سطح مرکزی کانال جانبی سرریز، یک برآمدگی در 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.

4-2- الگوی جریان

ویژگی‌های هیدرولیکی بوجود آمده برای جریان در داخل کانال جانبی سرریزهای سه‌جانبی ناشی از دو نوع جریان ورودی است. 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.

4-3- بررسی طول مؤثر تاج در دبی‌ها مختلف

طول مؤثر تاج به عنوان یکی از پارامترهای مهم در میزان



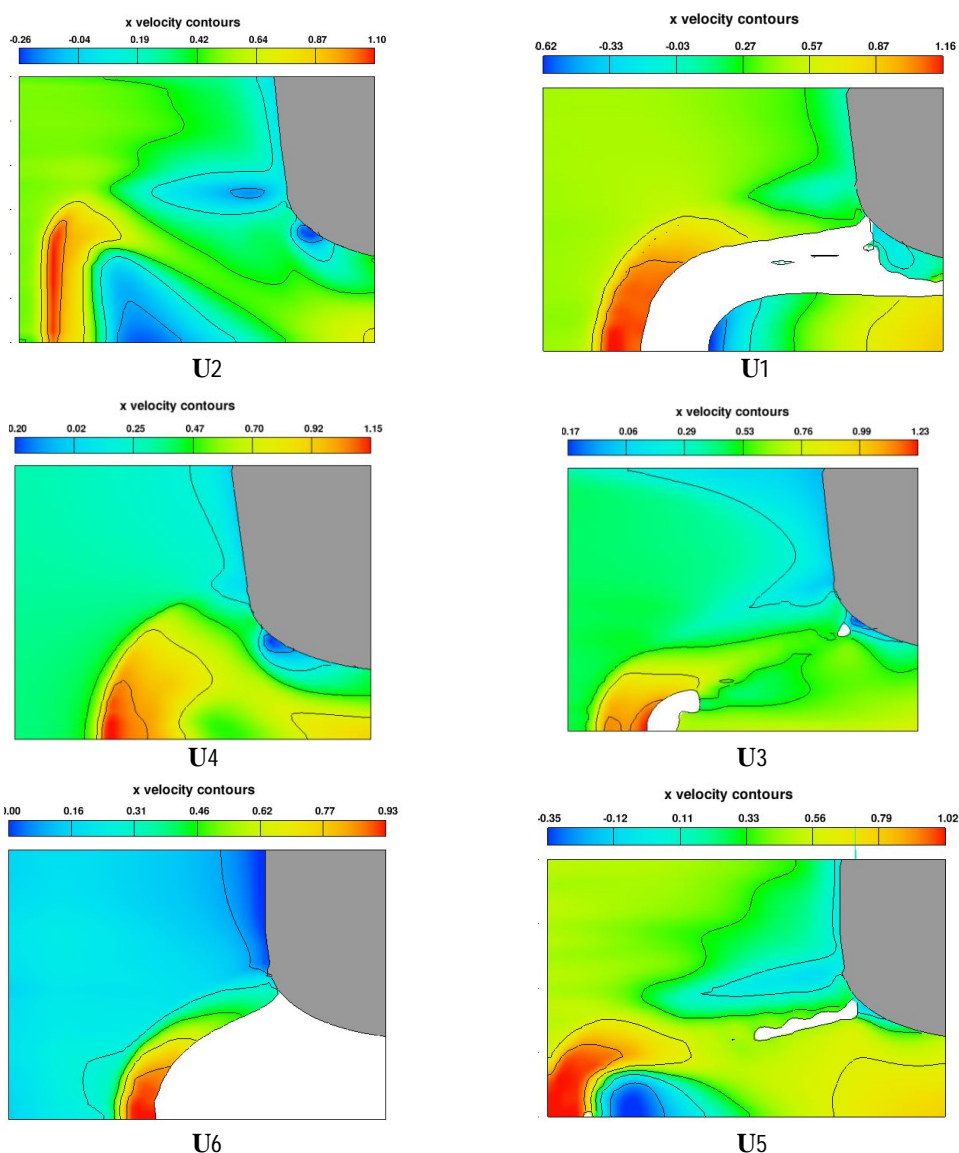
شکل 9 منحنی‌های هم‌تراز سرعت در پلان سرریز (U1)

نزدیک تاج سرریز برای مشاهده مناسب ناحیه فشرده‌گی جریان نشان داده شده‌اند. برای سایر مدل‌ها هم، شرایط یکسانی مشاهده شده است.

مطابق جدول 3 این نوع سرریزها برای بارهای آبی کم جریان بر روی تاج، عملکرد مناسبی از خود برای آبگذری جریان نشان می‌دهند و با افزایش میزان جریان از میزان آبگذری آنها کاسته می‌شود، تا در نهایت مانند یک سرریز نرمال عمل کنند. حتی ممکن است جریان‌های ریزشی از روی تاج تحت تاثیر جریان داخل کانال جانبی این سرریز-ها قرار گرفته و از میزان آبگذری آنها بیشتر بکاهد.

4-4- بررسی طول مؤثر تاج در سرریزهای مختلف

سرریزهای با طول زیاد کمترین کاهش طول مؤثر تاج را از خود نشان می‌دهند. دلیل این مسأله این است که در طول تاج زیاد، جریان فضای کافی را برای تخلیه دارد و دچار فشرده‌گی نمی‌شود. در شکل مختلف پلان سرریزها، سرریزهایی که دارای باله‌های کناری طولی باشند، کمترین اثر را از فشرده‌گی جریان متحمل می‌شوند و عملکرد مناسبی را نشان می‌دهند. شکل 10 نشان دهنده منحنی‌های هم‌تراز سرعت در جهت x در دبی 113 لیتر بر ثانیه برای مدل‌های مورد بررسی است. منحنی‌های هم‌تراز نشان داده شده در شکل 10، در یک تراز یکسان و



شکل 10 منحنی‌های هم‌تراز سرعت در پلان سرریزهای مورد بررسی در دبی 113 لیتر بر ثانیه

مسأله را می‌توان در این دانست که در H/P کم، تمام طول سرریز وظیفه انتقال جریان را انجام می‌دهد، اما با توجه به اینکه با افزایش دبی و افزایش ارتفاع جریان روی تاج سرریز، تداخل لایه‌های جریان روی تاج سرریز زیاد می‌شود، از طول مؤثر سرریز و میزان آبگذری سرریز کاسته می‌شود. البته قابل ذکر است که با وجود عملکرد مناسب سرریز از لحاظ آبگذری در دبی‌های کمتر، تشدید نوسانات فشار دینامیکی در داخل کانال جانبی به عنوان عامل منفی در دبی‌های کمتر مطرح می‌باشد. با توجه به نمودار شکل 11 مشخص می‌باشد که مدل سرریز شماره 5، تقریباً در تمامی مقادیر H/P دارای ضریب دبی بیشتری بوده است. بیشترین ضریب آبگذری معادل $1/108$ نیز برای این مدل در $H/P = 0/353$ رخ داده است.

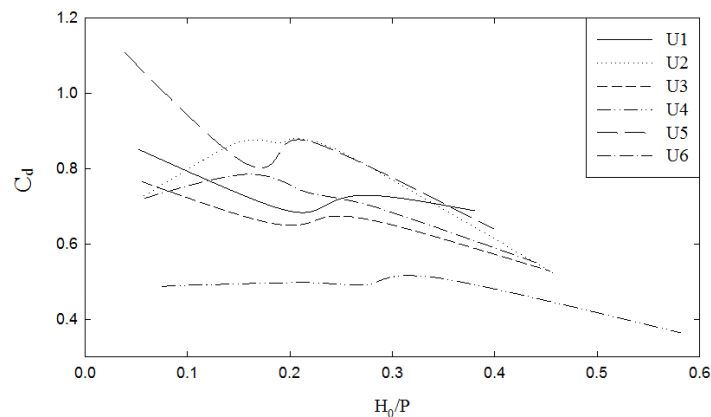
همان‌گونه که از جدول 3 برداشت می‌شود، سرریز شماره 5 بهترین عملکرد را از لحاظ آبگذری از خود نشان داده است و طول مؤثر تاج سرریز در این مدل کاهش کمتری نسبت به سایر مدل‌ها داشته است. یکی از مهمترین دلایل این امر این است که سرریز شماره 5 مانند دو سرریز جانبی مقابل هم عمل می‌کند و جریان بر روی تاج سرریز با تداخل جزئی جریان‌های جانبی و مستقیم روبرو شده است. با کاهش ناحیه فشرده‌گی جریان بر روی تاج سرریز، جریان با سرعت بیشتری از روی تاج سرریز شده و وارد کانال می‌شود.

4-5- ضریب آبگذری

نتایج نشان می‌دهد که برای مقادیر کم H/P ، سرریز از لحاظ آبگذری دارای عملکرد مناسبی است. دلیل این

جدول 3 مقادیر درصد کاهش طول مؤثر تاج سرریز در سرریزها و دبی‌های 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



شکل 11 ضریب آبگذری سرریزها در مقابل H_0/P

دبی‌های بالا سریعاً مستغرق می‌شوند.

- بیشترین ناحیه‌ای که کاهش طول مؤثر سرریز در آن رخ می‌دهد، قسمتی است که دو بازوی کناری و قسمت نرمال (عمود بر محور مرکزی کانال جانبی) به هم متصل می‌شوند. با کاهش این ناحیه و اتصال کوتاه این دو قسمت می‌توان از کاهش طول مؤثر جلوگیری کرد. این کار در مدل شماره 5 به نحوه مناسبی انجام شده است.

- نتایج نشان می‌دهند که کمترین کاهش طول مؤثر تاج سرریز در مدل شماره 5 بوده است. در این مدل کمترین کاهش طول مؤثر به میزان 8 درصد برای دبی 11 لیتر بر ثانیه و بیشترین کاهش طول مؤثر به میزان 50 درصد برای دبی 177 لیتر بر ثانیه بوده است.

- روند مشابهی از تغییرات C_d در مقابل H/P برای سرریزهای گروه اول (5-3-1) (تقریباً V شکل) با هم و سرریزهای گروه دوم (6-4-2) (تقریباً U شکل) با هم بدست آمده است که این مساله مربوط به شکل پلان این سرریزها می‌باشد.

- مدل سرریز شماره 5، تقریباً در تمامی مقادیر H/P دارای ضریب دبی بیشتری بوده است. بیشترین ضریب آبگذری معادل 1/108 نیز برای این مدل در $H/P = 0/0353$ رخ داده است.

6- فهرست علائم

A_x	مساحت جزیی المان در وجه x
A_y	مساحت جزیی المان در وجه y
A_z	مساحت جزیی المان در وجه z

همچنین با توجه به نمودار شکل شماره 11، روند مشابهی از تغییرات C_d در مقابل H/P برای سرریزهای گروه اول (5-3-1) با هم و سرریزهای گروه دوم (6-4-2) با هم بدست آمده است که این مساله مربوط به شکل پلان این سرریزها می‌باشد. سرریزهای گروه دوم تقریباً دارای شکل U کامل می‌باشند، در حالی که سرریزهای گروه اول بیشتر به شکل V تمایل دارند.

5- نتیجه‌گیری

با توجه به استفاده روزافزون از سرریزهای چندوجهی در سدها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی، لزوم پرداخت به عملکرد هیدرولیکی و ارتقای بهره‌وری آنها یکی از مسایل مهم برای طراحان بوده است. در این تحقیق با شبیه‌سازی عددی جریان بر روی سرریزهای سه‌جانبی به بررسی طول مؤثر تاج این سرریزها پرداخته شده است تا بتوان به شرایط بهینه‌ای برای عملکرد هیدرولیکی این سرریزها دست یافت. نتایج زیر حاصل بررسی‌های انجام شده می‌باشد:

- در ارتفاع‌های زیاد جریان بر روی تاج، طول مؤثر تاج کاهش یافته و به مقدار ثابتی میل خواهد کرد.

- نتایج نشان می‌دهند که استفاده از بازوهای کناری مایل طولی، تاثیر مناسبی بر میزان ضریب آبگذری ایجاد می‌کند.

- در سرریزهایی که شکل آنها به حالت U کامل نزدیک شده است، به دلیل تداخل شدید لایه‌های ریزشی جریان، جریان از کانال جانبی آنها با تاخیر تخلیه شده و در

هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، انجمن هیدرولیک ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران.

مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو (1373). گزارش نهایی مدل هیدرولیکی سرریز سد شهید یعقوبی، گزارش 161، تهران.

مؤسسه تحقیقات آب وزارت نیرو (1375). گزارش نهایی مدل هیدرولیکی سرریز سد جره، گزارش 268، تهران.

Farney, H.S. and Markus, A. (1962). "Side Channel Spillway Design"; J. Hydr. Engrng. ASCE; Vol. 88, No. 3, pp. 131-154.

Hirt, C. and Nichols, B., (1981). "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries". Journal of Computational Physics, Volume 39, Pages 201-225

Knight, Arthur C.E, (1989). "Design of Efficient Side Channel Spillway", J. Hydr. Engrng., ASCE; 115(9): 1275-1289.

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

Novak, P. and Cabelka, J. (1981). Models in Hydraulic Engineering-Physical Principles and Design Applications, Pitman, London.

B	عرض کانال جانبی
F	تابع حجم سیال
f_i	تنش‌های رینولدز در راستای i
g_i	شتاب گرانش در راستای i
H_0	بار آبی رو تاج سرریز
L	طول کل تاج سرریز
L'	طول مؤثر تاج سرریز
P'	فشار متوسط
Q	دبی جریان
R	شعاع بخش قوسی تاج سرریز
u	سرعت در راستای محور x
V_f	نسبت حجم مایع در هر المان
v	سرعت در راستای محور y
w	سرعت در راستای محور z
ρ	چگالی سیال
α^0	زاویه دیواره‌های بازوهای جانبی تاج سرریز

7- منابع

دانشبد، یونس و طالب بیدختی، ن. (1388). "شبیه‌سازی جریان بر روی سرریز سد سیوند به کمک نرم‌افزار فلونت"،