بررسی تأثیر همزمان مجرای تحتانی پلکانی و گرداب‌شکن بر هیدرولیک جریان عبوری بر سرریز نیلوفری

روزبه آقامجیدی*[۱]، سید حبیب موسوی جهرمی[۲]و حیدرعلی کشکولی[۳]

۱) استادیار، گروه عمران، واحد سپیدان، دانشگاه آزاد اسلامی، فارس، ایران.
۲) استادیار، گروه مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران.
۳) استاد، گروه آبیاری و زهکشی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: **roozbeh1381@yahoo.com**

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۹/۰۶ **تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۱/۱۹**

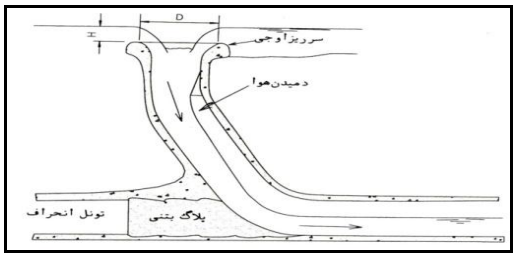
چکیده

در دهه‌های اخیر سدهای زیادی ساخته شده‌اند و یا در حال ساخت می‌باشند. با توجه به بالا بودن نیاز به آب و نیز فرسایش روز افزون خاک در مناطق مختلف لزوم احداث سد کاملاً محسوس می‌باشد. در سال ۱۹۰۰ تعداد سدهای بزرگ، از ۵۰ عدد تجاوز نمی‌کرد. ولیکن در بین سال‌های ۱۹۵۰ الی ۱۹۸۶ تعداد سدهای بزرگ (بیش از ۱۵ متر ارتفاع) بیش از ۳۹۰۰۰ شمارش گردید. از دهه ۷۰ میلادی ساخت سدها توسعه روز افزونی داشته است. سرریزها بنا بر نوع بهره‌برداری و نوع پروژه متفاوت است. به‌عبارت بهتر سرریزها دارای انواع مختلف می‌باشند که یکی از این انواع، سریز نیلوفری است. سرریز نیلوفری عبارت است از سرریز جداگانه‌ای که می‌تواند جایگزین سرریز جانبی شود. این سرریز از یک دهانه دایروی، یک تبدیل دایروی قائم و یک تونل تحت فشار افقی (یا تقریباً افقی) که نهایتاً آب را از مخزن سد به پایین دست منتقل می‌کند، تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر، سرریز نیلوفری از یک تاج دایره‌ای تشکیل می‌شود که جریان را به یک محور مایل یا قائم هدایت می‌نماید. در این تحقیق جهت بررسی عملکرد توامان مجرای پلکانی و گرداب‌شکن برروی هیدرولیک سرریز نیلوفری آزمایشات متعددی با انواع گرداب‌شکن و با انواع مجرای پلکانی انجام پذیرفت، که نتایج حاصل نشان می‌دهد که بعد از انجام نزدیک ۱۰۰ آزمایش بهترین مجرای پلکانی مربوط به مجرای ۱۲ پلکان و گرداب‌شکن با ارتفاع و طول کم با آرایش شش تایی است که باعث افزایش دبی عبوری به میزان ۲۳ درصد می‌شود. لازم به ذکر است که افزایش ضخامت گرداب‌شکن بیش از هفت درصد شعاع سرریز اثر چندانی بر افزایش ضریب سرریز را ندارد. همچنین می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد سرریز با آرایش شش‌تایی دارای بازده و راندمان بالاتری است.

واژه‌های کلیدی: سرریز نیلوفری، مجرای پلکانی، گرداب شکن، آرایش گرداب شکن و ضریب سرریز .

مقدمه

منابع آبی بنیان اصلی توسعه پایدار کشورها می‌باشند. توزیع غیر یکنواخت مکانی و زمانی منابع آب یکی از عوامل کمبود آب در مناطق مختلف جهان است. ساخت یک سد می‌تواند اقدام بسیار مؤثر در توسعه کامل منابع آب و بهره‌وری مناسب از آن‌ها، قلمداد شود. در دهه‌های اخیر سدهای زیادی ساخته شده‌اند و یا در حال ساخت می‌باشند. با توجه به بالا بودن نیاز به آب و نیز فرسایش روز افزون خاک در مناطق مختلف لزوم احداث سد کاملاً محسوس است. در سال ۱۹۰۰ تعداد سدهای بزرگ، از ۵۰ عدد تجاوز نمی‌کرد. از دهه ۷۰ میلادی ساخت سدها توسعه روزافزونی داشته است. سرریزها بنا بر نوع بهره‌برداری و نوع پروژه متفاوت است. به عبارت بهتر سریزها دارای انواع مختلف می‌باشند، که یکی از این انواع سریز نیلوفری است. سرریز نیلوفری عبارت است از سرریز جداگانه‌ای که می‌تواند جایگزین سرریز جانبی شود. این سرریز از یک دهانه دایروی، یک تبدیل دایروی قائم و یک تونل تحت فشار افقی (یا تقریباً افقی) که نهایتاً آب را از مخزن سد به پایین دست منتقل می‌کند، تشکیل می‌شود. به عبارت دیگر، سرریز نیلوفری از یک تاج دایره‌ای تشکیل می‌شود که جریان را به یک محور مایل یا قائم هدایت می‌نماید. محور ذکر شده به یک تونل با شیب کم متصل است. چنین سازه‌هایی مستعد برای ایجاد جریان گردابی در دهانه ورودی آن هستند، که باید با انتخاب موقعیت مناسبی برای مجرای افقی، متناسب با توپوگرافی مخزن و محور سد، از وقوع آن جلوگیری شود. با قرار دادن تیغه‌هایی (تیغه‌های گرداب شکن) روی تاج سرریز، وضعیت جریان‌های شعاعی را می‌توان اصلاح کرد. به‌علت شکل تاج سرریز، جریان آب دچار فشارهای منفی خواهد شد. طول تاج را می‌توان برابر با ۳/۱۴ D در نظر گرفت (D قطر دهانه سرریز نیلوفری) سرریز نیلوفری می‌تواند نتایج سودمندی را در تنگه‌های باریک و مکان‌هایی که شیب کناره‌ها تند است به همراه داشته باشد. در سرریزهای نیلوفری وجود گرداب می‌تواند باعث کاهش دبی، ضریب دبی و عملکرد سرریز شود (Anwar *et al.*, 1978).



شکل ۱: نمایش یک سرریز نیلوفری

برای بار انرژی بر روی تاج سرریز بده تاج کنترل کننده می‌باشد. در حالتی که کنترل در تاج باشد، در قسمت قائم تبدیل پس از تاج، جریان نیمه‌پر خواهد بود و به سمت دیواره متمایل خواهد شد. با افزایش بده، ضخامت فواره جریان

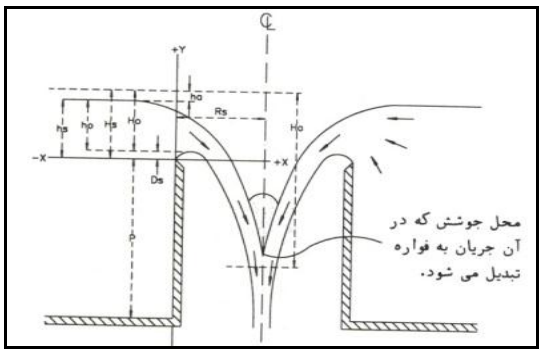
بیش‌تر شده و ناگهان به فواره پر تبدیل خواهد شد. پس از تشکیل فواره پر، حالت جوشش منطقه بالای محل انشعاب را اشغال خواهد کرد. برای بار انرژی بزرگتر محل جوشش بالاتر می‌آید و گرداب‌های کوچک در سطح جریان نمایان می‌شوند. پس از تشکیل محل انشعاب و جوشش، استغراق سرریز شروع می‌شود. برای نگه داشتن جریان همگرا و منظم در ورودی، اثر جریان‌های چرخشی باید به حداقل رسانده شود. بدین منظور از جدا کننده‌های هدایتی در طول تاج استفاده می‌شود. بده سرریز از رابطه ذیل تعیین می‌شود:

رابطه ۱:
$$Q = C_O L H_O^{3/2}$$

که در آن L طول محیط دایره در شروع منحنی اوجی می‌باشد. البته طول محیط دایره‌ای که از روی تاج سرریز عبور می‌کند می‌تواند در نظر گرفته شود، که در این صورت مقدار ضریب سرریز، C_o تغییر خواهد کرد. با جایگزین کردن مقدار L بر حسب شعاع دایره R_s حاصل می‌شود:

رابطه ۲:
$$Q = C_O (2\pi R_S) H_O^{3/2}$$

متغیرهای فرمول در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. C_o در اینجا تابعی از H_o و R_S می‌باشد. رابطه C_o برحسب H_o و R_S که براساس آزمایش‌هایی بر روی مدل‌ها به‌دست آمده است. لازم به ذکر است که این منحنی‌ها به شرطی صادق‌اند که تهویه به خوبی انجام شده باشد، به نحوی که فشارهای منفی در طول قسمت پایینی فواره ایجاد نشده باشند. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که تا زمانی که مقدار نسبت H_o / R_s کوچکتر از ۰/۴۵ باشد، کنترل در سرریز است، و با افزایش مقدار این نسبت استغراق بیشتر می‌شود (Beitz and lawless, 1992). زمانی که مقدار این نسبت به واحد برسد، سرریز کاملاً مستغرق خواهد بود. از این مرحله به بعد کنترل در روزنه خواهد بود (Bradley, 1952) .



شکل ۲: مقطع یک سرریز نیلوفری

به‌طور کلی برای سرریز دایره‌ای، با کاهش H_o ضریب C_o افزایش می‌یابد. این موضوع بر عکس آن چیزی است که در سرریز مستقیم داشته‌ایم، زیرا که در سرریز دایره‌ای اثر استغراق مهم است. با کاهش H_o استغراق کم می‌شود و ظرفیت آب‌دهی افزایش می‌یابد و به عبارت دیگر ضریب C_o افزایش می‌یابد. با توجه به اهمیت این سرریزها در سدهایی که امکان اجرای دیگر سرریزها هزینه بر و غیر ممکن است، انجام راهکارهایی به‌منظور افزایش دبی و ضریب دبی سرریزهای نیلوفری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و استفاده بهینه از تیغه‌های گرداب‌شکن نیز می‌تواند اثر بیش‌تری بر افزایش دبی و ضریب دبی سرریز نیلوفری داشته باشد. لازم به ذکر است که استفاده از گرداب‌شکن بر روی این سازه‌ها که به‌صورت بسیار محدود و فقط برروی سریزهای نیلوفری ساده انجام پذیرفته، می‌تواند گامی مؤثر در استفاده از این نوع سرریزها باشد. در این تحقیق از چندین پله در جداره‌های دهانه ورودی مدل سرریز نیلوفری از نوع صاف استفاده شده است که شکل دهانه ورودی سرریز به‌صورت ذیل می باشد:

۱- دهانه سرریز نیلوفری با جداره کاملاً صاف

۲- دهانه سرریز نیلوفری با جداره کاملاً زبر

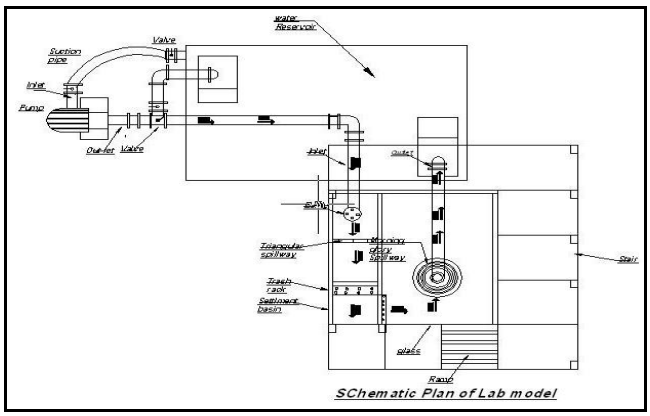
دهانه سرریز نیلوفری با جداره کاملاً صاف در یک مدل و دهانه سرریز نیلوفری با جداره کاملاً زبر در چهار مدل، سه پله‌ای، چهار پله‌ای، شش و ۱۲ پله‌ای ساخته می‌شود. پله‌ها سطح کاملاً زبری را در مدل دهانه سرریز ایجاد خواهند نمود و جمعاً پنج نوع دهانه ورودی از سرریز ساخته می‌شود و بر روی هر کدام از این دهانه‌ها آزمایشات یکسانی انجام خواهد گرفت. در این ارتباط دونوع تیغه مثلثی و اوجی شکل در دو طول مختلف به صورت (نیمه سهموی) در سه موقعیت (سه‌تایی، چهارتایی و شش‌تایی) بر روی سریز با حالت‌های مختلف دبی مورد آزمایش قرار خواهند گرفت. پس می‌توان آزمایش ها را با سه حالت مختلف گذر دبی به صورت زیر برنامه‌ریزی نمود. از نقطه نظر هیدرولیکی، با مقایسه مدت زمان رسیدن سرریزهای پلکانی و سرریزهای صاف به نقطه استغراق جریان، از خطرات احتمالی شکست سرریز و در نهایت خرابی سد در مواقع سیلابی مطلع خواهیم شد. در مرحله بعد پارامترهای زبری جداره و میزان استهلاک انرژی را با یکدیگر مرتبط ساخته و همچنین مقدار ضریب دبی عبوری را برای سرریزهای زبر و صاف تخمین زده و در نهایت تمام نتایج اطلاعات آزمایشگاهی با یکدیگر مقایسه خواهد شد. Thandaveswara (۲۰۰۶) برای حذف خطر کاویتاسیون در سرریزهای نیلوفری پیشنهاد کرد سازه بتنی باید خیلی صاف ساخته شود، محل اتصال ساختمان‌ها در مجاورت قیف ورودی و زانو باید حذف شده و صاف شود. Fattor و Bacchiega (۲۰۰۳) به این نتیجه رسیدند که در سرریزهای نیلوفری در صورتیکه سرریز مستغرق باشد مقدار دبی ۱/۳۴ برابر دبی جریان در حالت آزاد می‌باشد و جریان متلاطمی در صورت عدم هوادهی به تونل آب بر در سرریز خواهیم داشت. Grawford و همکاران (۲۰۰۳) بیان کردند که پیش‌بینی افت فشار برای

جریان آشفته و یک بعدی سیال در اطراف زانویی ۹۰ درجه به علت پیچیدگی جریان ناشی از اثر اصطکاکی و جدایی مشکل است. آن‌ها مدلی ارائه کردند که توسط آن می‌توان به‌طور دقیق اثر اصطکاک را پیش‌بینی کرد. هدف آن‌ها از این تحقیق، پیشنهاد یک مدل توانمند برای پیش‌بینی افت فشار برای جریان یافته با عدد رینولدز بیش از ۳×۱۰e۵ بود. به طوری‌که داده‌های پیش‌بینی شده در محدوده ۳+ تا ۳- درصد داده‌های آزمایشگاهی باشند. Amphlett و Anwar (۲۰۰۲) در زمینه مدل کردن جریان‌های گردابی چنین بیان کردند که گرداب‌های همراه با دخول هوا می‌توانند به درستی مدل شوند ولی این مشکل وجود دارد که اندازه واقعی هسته هوا در مدل کوچکتر بوده و مقیاس مورد استفاده را تا حدودی به هم خواهد زد و همچنین ایشان گرداب‌های آزاد سطحی را با هسته هوا مورد مطالعه قرار داد و گرداب‌ها را به دو گروه تقسیم نمود: گرداب‌های با هسته ورقه‌ای و گرداب‌های با هسته متلاطم، او معادلات ریاضی مربوط به دو نوع گرداب را ارائه نمود. Padmanabhan و Hecher (۲۰۰۹) جریان‌های چرخشی را مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که در مورد جریان‌های چرخشی مستغرق تولید پی در پی این جریان‌ها و مدلسازی شدت جریان‌های چرخشی ایجاد شده بوسیله گرداب‌های مستغرق نیازمند وجود حداقل اثر لزجت می‌باشد. برای مخازن عمیق، آزمایشات انجام شده توسط آن‌ها نشان داد که لازمه ایجاد چنین شرایطی این است که عدد رینولدز جریانه آستانه بیشتر از ۳×۱۰e۴ باشد. هم چنین آن‌ها دریافتند که اگر عدد رینولدز شعاعی بزرگتر یا برابر ۳×۱۰e۴ باشد قدرت گرداب مستقل از عدد رینولدز خواهد بود هم چنین آنها توصیه کردند که در مدل از عدد و بر بزرگتر از ۱e۴ استفاده شود تا مدل مستقل از اثر کشش سطحی عمل کند.

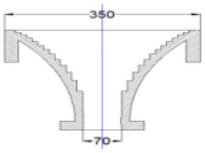
مواد و روش‌ها

هدف این طرح تحقیقاتی در مرحله اول تأمین امنیت سازه‌ای سد و سرریز بوده و در مرحله دوم طرح ساختمان‌هایی از سرریز نیلوفری است که بتوان در مدت زمان کوتاه‌تری آن‌ها را طراحی و اجرا کرد به همین دلیل دو نوع سرریز نیلوفری یکی با بدنه صاف و دیگری با بدنه پلکانی به همراه انواع گرداب‌شکن و با آرایش قرارگیری متفاوت، مورد آزمایش و مدل‌سازی آزمایشگاهی قرار می‌گیرد در این تحقیق یک مدل فیزیکی، مشابه مدل سرریز سد سن لوئیس فربای واقع در دره مرکزی ایالت کالیفرنیا آمریکا انتخاب شده است این مدل با پاره‌ای تغییرات در ابعاد و مقیاس آن، جهت انجام آزمایشات جدید آماده‌سازی شده است. مدل حاضر که در شکل ۳ نشان داده شده، از چند قسمت عمده تشکیل شده که به اختصار بیان می‌شود. بالاترین قسمت این مدل، مخزن سد می‌باشد که متشکل از یک کانال ذوزنقه‌ای به انضمام دهانه ورودی سرریز است این کانال آب را به سمت دهانه تاج سرریز هدایت می‌کند ابعاد این مخزن مکعب شکل، با در نظر گرفتن ابعاد ۱/۲۰× ۱/۰۵× ۰/۹۱۱ متر می‌باشد. قسمت بعدی مدل، جسم سرریز نیلوفری است که قابلیت جداشدن دارد

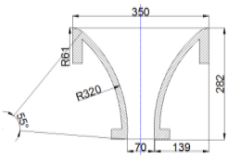
در این حالت فرم پلکانی سرریز با فرم ساده سرریز در هر مرحله از آزمایش یک به یک تعویض می‌شوند (شکل ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸) سرریز مورد نظر با طولی بیش از ۱/۴۶ متر، قطر تاج ۳۵/۰۰ سانتی‌متر، قطر گلویی هر سرریز ۷/۰۰ سانتی‌متر، قطر خم ۱۰/۱۶ سانتی‌متر و قطر تونل پایین‌دست ۷/۶۲ سانتی‌متر عمل تخلیه مخزن سد را انجام می‌دهد.



شکل ۳: نمایی از مراحل ساخت مدل فیزیکی مخزن و محل قرارگیری سرریز



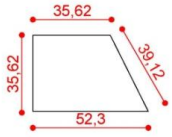
شکل ۴: مدل فیزیکی سرریز ساده



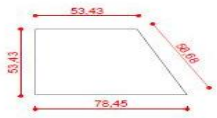
شکل ۵: مدل فیزیکی سرریز ۱۱ پله‌ای

گرداب شکن[1] (پردهٔ گرداب شکن[2])

جهت انجام مراحل مختلف آزمایش‌ها به انواع مختلف گرداب‌شکن احتیاج بود. جهت ساخت گرداب شکن‌ها، از پلاستیک فشرده (تفلون ضخیم) با انواع مختلف ضخامت ۱۹/۵، ۱۴ و ۲۱ میلی‌متر بهره گرفته شده که این گرداب شکن‌ها به‌صورت ابعاد و اندازه‌های مختلفی طراحی و تهیه شده است که ابعاد مختلف آن‌ها به‌صورت شکل ذیل است، لازم به ذکر است آرایش مربوط به قرارگیری گرداب‌شکن به صورت سه، چهار و شش تایی می باشد.



شکل ۶: گرداب شکن لبه تیز بلند

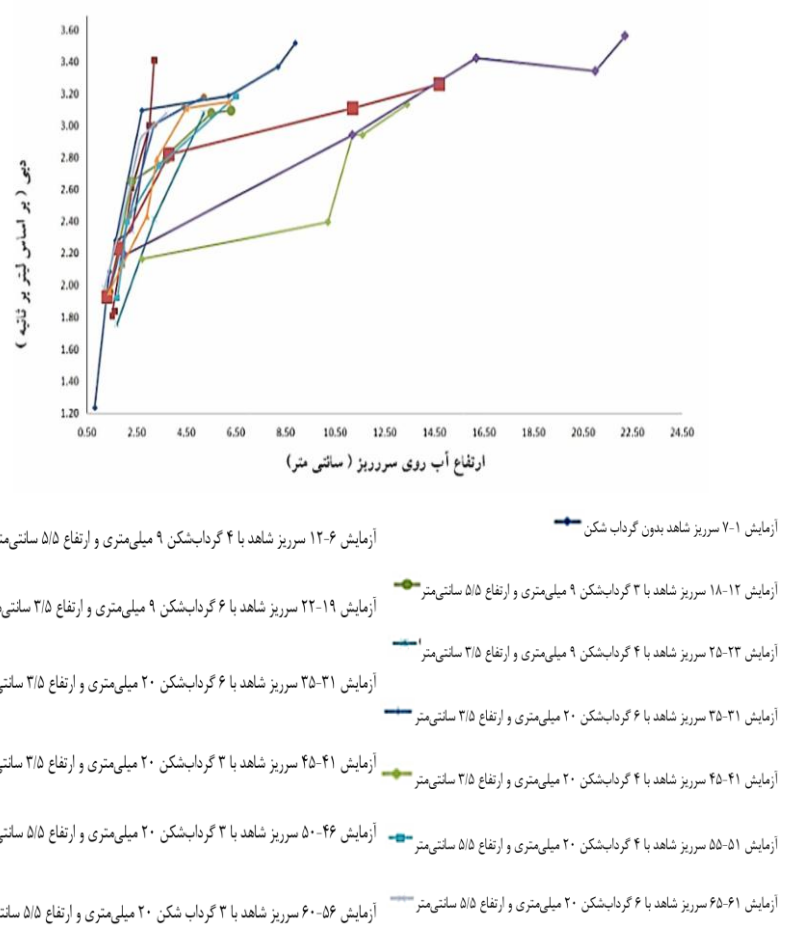


شکل ۷: گرداب شکن کوتاه (لبه تیز)

[1] Vortex breaker
[2] Pier guide vane

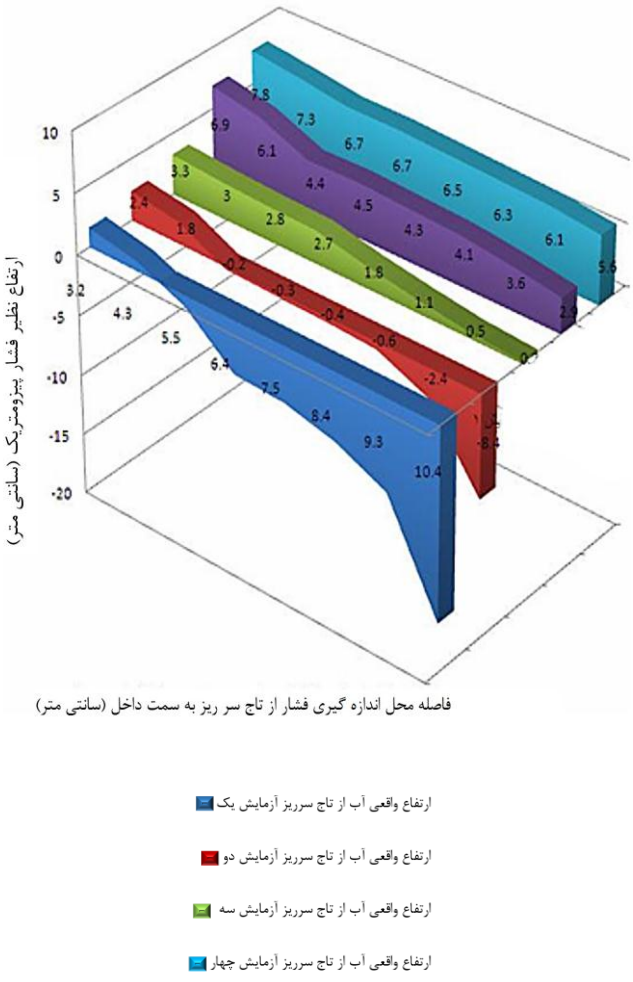
نتایج

اثر گرداب‌شکن‌ها برروی ارتفاع آب برروی سرریزها نحوه آرایش گرداب شکن‌ها برروی سرریزها در رابطه دبی- اشل بسیار زیاد می‌باشد.



شکل ۸: گرداب‌شکن لبه تیز بلند

همان‌گونه که در شکل ۸ مشخص شده است رابطه دبی- اشل مربوط به آزمایش‌های سرریز شاهد بسیار متفاوت است به‌گونه‌ایی که بیش‌ترین میزان تغییرات دبی مربوط به آزمایش با آرایش شش گرداب‌شکن (گرداب‌شکن با ارتفاع نه میلی‌متری و ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متر است) و کم‌ترین میزان تغییرات مربوط به آزمایش با آرایش چهار گرداب‌شکن (گرداب شکن با ارتفاع ۵/۲ سانتی‌متر و ضخامت نه میلی‌متر) می‌باشد. در این راستا می‌توان این گونه اظهار نمود که آرایش شش‌تایی گرداب‌شکن محدوده بیش‌تری از تغییرات دبی را با ارتفاع مختلف آب روی سرریز در بر می‌گیرد و لیکن آرایش چهارتایی دارای این دامنه کاربرد نمی‌باشد. جهت بررسی تغییرات فشار پیزومتریک در نقاط مختلف بدنه سرریز، در نقاط مشخصی پیزومتر به بدنه سرریز نصب شده و مشخصات فشار برروی تابلوی پیزومتریک قرائت شد.

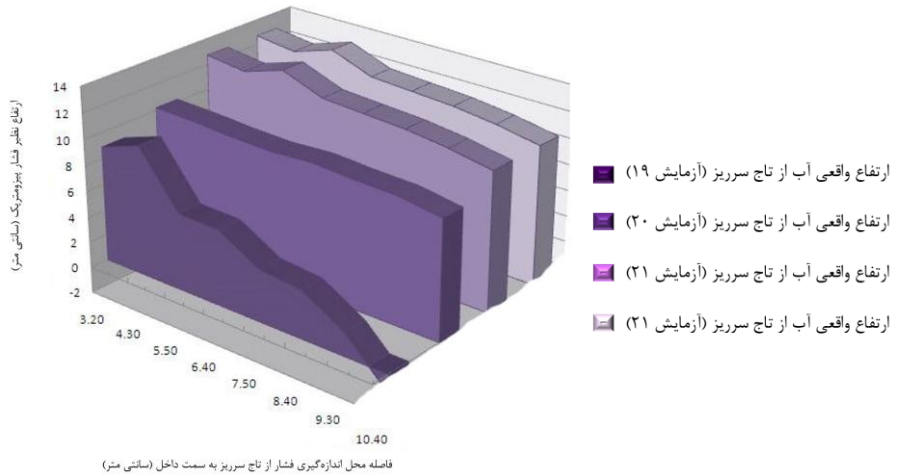


شکل ۹: نمودار تغییرات فشار در بدنه سرریز شاهد بدون استفاده از گرداب شکن

براساس شکل ۹ تغییرات فشار در دبی‌های مختلف متفاوت می‌باشد که علت آن تغییر در رژیم جریان است. در نمودار اول، محل نصب پیزومترها در بدنه سرریز است در نمودارهای بعدی براساس تغییر دبی و ارتفاع آب حاصله روی تاج سرریز فشارها متفاوت است که علت این تفاوت به خاطر وجود تغییرات رژیم جریان است. در ابتدا که دبی و ارتفاع آب روی سرریز بسیار کم و جریان به‌صورت کنترل تاج عمل می‌نماید و جریان بصورت تیغه‌ایی است با افزایش ارتفاع آب روی سرریز (افزایش دبی) ابتدا جریان سرعت بیش‌تری پیدا نموده و با گذشت مدتی حالت گردابه‌ایی در سرریز ایجاد می‌شود. که این گردابه دارای ابعاد کوچکی است با گذشت زمان ابعاد گردابه افزایش پیدا می‌کند و تلاطم جریان بسیار بیش‌تر می‌شود که این مشخصه در نمودارهای سوم و چهارم از شکل ۹ نشان داده شده است. با افزایش دبی جریان حالت بینابینی پیدا می‌کند و سپس حالت استغراق کامل ایجاد می‌شود و نوسانات فشار درون پیزومترها کاهش می‌یابد که این موضوع در نمودار پنجم مشخص می‌باشد.

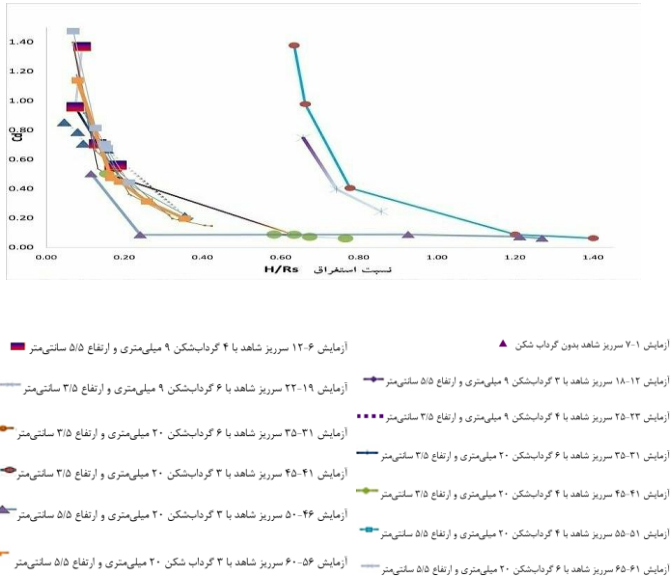
شکل ۱۰: نمایی از عبورجریان و ایجاد حالت گردابه بعد از گذشت ۲۰ ثانیه از آزمایش در سرریز نیلوفری شاهد

استفاده از گرداب شکن‌ها اثر بسیار زیادی بر تغییرات فشار بدنه سرریز خواهند داشت، به‌نحوی که در حالت آرایش چهار گرداب‌شکن، ابتدا جریان به صورت تیغه‌ای برروی سرریز جریان پیدا می‌کند و گرداب شکن‌ها اثر بسزایی ندارند و لیکن با افزایش دبی و ارتفاع آب رژیم جریان کاملاً تفاوت خواهد نمود. بدین صورت که خطوط جریان به‌صورت مرتب توسط گرداب‌شکن‌ها شکسته می‌شود و از ایجاد حالت گردابه در مرکز سرریز نیلوفری جلوگیری می‌کند. با افزایش دبی و استغراق ۲۰ درصد گرداب شکن‌ها نحوه عبور جریان کاملاً متلاطم شده و خطوط شکسته جریان با حالت گردابه‌ایی کاملاً مخلوط می‌شود. تلاطم باعث ایجاد نوسانات فشار در بدنه سرریز می‌شود، اما شدت نوسانات با حالت آزمایش بدون گرداب‌شکن متفاوت است. بعداز استغراق کامل گرداب‌شکن‌ها یک گردابه مارپیچ با شدت نوسانات کم برروی جریان ایجاد می‌شود که بعد از گذشت مدتی گردابه مارپیچ کوچک‌تر شده و جریان به حالت استغراق کامل خواهد رسید. در مقام مقایسه در حالت‌های سه، چهار و شش گردابه میزان شکست خطوط جریان در حالت آرایش شش گرداب‌شکن بیش‌تر می‌باشد و امکان ایجاد گردابه، نسبتا ماندگار کم‌تر از حالت‌های دیگر است. لازم به ذکر است با توجه به بلندی گرداب‌شکن‌ها، تغییرات و نوسانات تا ارتفاع حداقل استغراق سه سانتی‌متر بالاتر از ارتفاع گرداب‌شکن‌ها ادامه می‌یابد.



شکل ۱۱: نمودار تغییرات فشار در بدنه سرریز شاهد با آرایش شش گرداب شکن و ارتفاع ۵/۲ سانتی‌متر و ضخامت ۹ میلی‌متر

جهت بررسی تغییرات ضریب تخلیه سرریز بر اساس دبی ها و ارتفاع‌های مختلف آب برروی سرریز، از رابطه نسبت استقراق (Hs/Rs) به ضریب تخلیه (Cd) بهره گرفته شد. (Hs ارتفاع آب روی تاج سرریز، Rs شعاع سرریز تاج سرریز نیلوفری و Cd ضریب تخلیه سرریز است). شکل ۱۲ مشخصات مربوط تغییرات نسبت استغراق و ضریب تخلیه سرریز را نشان می‌دهد.

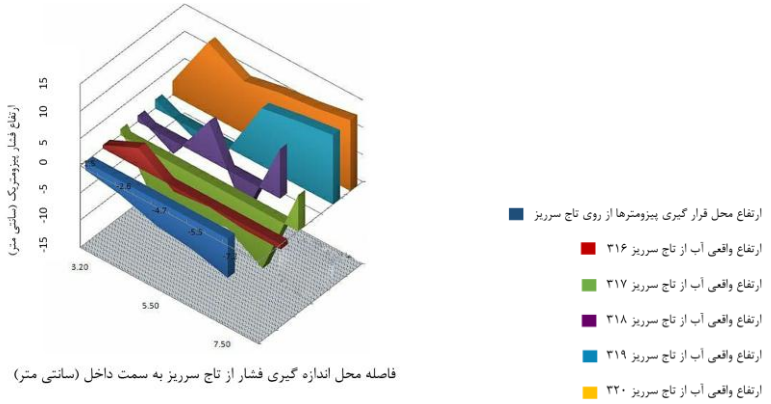


شکل ۱۲: نسبت استقراق به ضریب تخلیه در مجموعه آزمایش‌های مربوط به سرریز شاهد با و بدون استفاده از گرداب‌شکن

در بررسی این روابط سری سه و شش دارای نتایج بهتری نسبت به نتایج آرایش چهارتایی است و در بررسی ضرائب دبی، مشخص می‌شود که بیش‌ترین میزان افزایش دبی مربوط به نتایج حاصل از آزمایش گرداب‌شکن با آرایش شش‌تایی و گرداب شکن با ارتفاع ۳/۵ سانتی‌متری و ضخامت ۲۰ میلی‌متری است که دارای افزایش دبی ۱۷/۸ درصد می‌باشد و کم-ترین اثر مربوط به نتایج حاصل از سرریز با چهار گرداب شکن نه میلی‌متری و ضخامت ۳/۵ میلی‌متری است که باعث کاهش اثر دبی عبوری نزدیک ۱۶ درصد می‌شود. در حالت اولیهٔ هنگامی‌که ارتفاع آب در ورود به سرریز کم می‌باشد جریان به صورت تیغه‌ایی حرکت می‌کند و کنترل از سوی تاج سرریز است سپس با افزایش ارتفاع آب به میزان ($\frac{H}{RS}=0.35$) (H ارتفاع آب روی سرریز، RS شعاع ورودی سرریز است) حرکت جریان از حالت تیغه‌ایی، گرداب‌هایی[3] در قسمت انتهایی بدنه سرریز ایجاد می‌کند و حالت آمیختگی آب در این وضعیت تا حدودی حالت واپس‌زدگی ایجاد می‌کند. سپس سرریز توانایی عبور آب را نخواهد داشت و نسبتاً حالت جوشش و تغییر حالت جریان ایجاد خواهد شد، حالت

[3] Great vortex

بالارفت[۴] و فشار در پزومترها به میزان ±یک سانتی‌متر و یا $\frac{Ha}{Rs}=0.008$ رویت می‌شود. همچنین در این نوع سرریز هنگامی‌که دبی جریان به ۲/۹۵ لیتر بر ثانیه می‌رسد، استغراق کامل ایجاد می‌شود، به عبارت بهتر مطابق مطالعات انجام پذیرفته تغییرات نوع جریان که معمولاً در $\frac{H}{RS}\le 0.4S$ ایجاد می شود، در این سرریز در حالت $\frac{H}{RS}=0.345$ ایجاد شده است که این رویداد با تغییر حالت گردابه بزرگ و متلاطم به یک جریان گردابه کوچک و مارپیچ به همراه افزایش ارتفاع آب تبدیل می‌شود. در مقام مقایسه با عبور جریان بدون گرداب‌شکن با عمق ایجاد گردابه‌های بزرگ در وسط سرریز تا قبل از عبور جریان و تغییر جریان از حالت کنترل سرریز به استغراق کامل، در عمق بالاتری ایجاد خواهد شد. به عبارت بهتر، تلاطم جریان در این حالت افزایش یافته و نوسانات و شدت فشار به بدنه سرریز بیش‌تر می‌شود. البته میزان عبور جریان تا حدودی افزایش یافته است. با توجه به بلند بودن نوع گرداب‌شکن، به میزان (..$\frac{R}{Rs}=\frac{5.2}{17.5}$)، عملکرد گرداب‌شکن‌ها تا حدود ۸ درصد تغییر می‌کند و دبی عبوری افزایش می‌یابد. جهت بررسی فشار پیزومتریک در بدنه سرریز همانند سایر آزمایش‌ها یک سری لوله‌های پیزومتریک در بدنه سرریز جهت قرائت ارتفاع نظیر فشار در بدنه سرریز ۱۲ پلکانی نصب و سپس ارتفاع آن قرائت شد. با افزایش دبی در قسمت‌هایی از بدنه سرریز فشارها به صورت منفی می‌شود که علت آن وجود گردابه و نوسانات شدید جریان است که با افزایش دبی این نوسانات فشار تغییر مسیر پیدا می‌کند و نوع خاصی از رژیم جریان که دارای حالت نسبتا پایداری است پدید خواهد آمد. با کاهش ابعاد پلکان و افزایش تعداد پله‌ها در بدنه سرریز جریان دارای رژیم متفاوتی خواهد بود به گونه‌ای که میزان استهلاک انرژی و دخالت جریان هوا کاهش می‌یابد و لیکن استهلاک و کنترل انرژی همانند حالت جریان در سایر سرریزهای مطبق نیست.



شکل ۱۳: تغییرات فشار در بدنه سرریز نیلوفری ۱۲ پلکانی

[4] Fluctuation

در آرایش شش‌تایی گرداب‌شکن‌ها، در دبی‌های میانگین تغییرات فشار بسیار مشهود است و در برخی حالات فشار در بدنه سرریز به شدت می‌یابد. که علت این امر، وجود تغییر جریان وجود گردابه، آمیختگی خطوط شکسته جریان با جریان نوسانی پیچشی و دخالت هوا با تغییر رژیم جریان است. لازم به ذکر است که ضخامت و ارتفاع گرداب‌شکن اثر زیادی بر ایجاد فشار منفی در دبی‌های متوسط دارد. در بررسی ضریب افت و نسبت استغراق می‌توان نتیجه گرفت که با استفاده از مجرای پلکانی تغییرات زیادی بر ضریب سرریز ایجاد می‌شود، که این تغییرات معمولاً باعث کاهش ضریب دبی عبوری از سرریز می‌شود. به‌عنوان مثال استفاده از سرریز با شش‌پلکان میزان کاهش ضریب جریان برابر ۱۶ درصد می‌شود و سرریز با مجرای ۱۲ پلکان میزان کاهش ضریب سرریز ۲۳ درصد کاهش می یابد. برای سرریز با مجرای چهار پلکان میزان افزایش دبی نسبت به سرریز شاهد با گرداب شکن ۱۸ درصد افزایش و نسبت به دبی عبوری از سرریز شاهد بدون گرداب شکن ۷/۳ درصد افزایش را نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

اثر گرداب‌شکن‌ها برروی ضریب تخلیه بسیار زیاد است به گونه‌ایی که این ضریب برای سرریز با مجرای پلکانی دارای اثر است.کم‌ترین میزان ضریب زبری مربوط به سرریز نیلوفری ۱۲ پلکان در حالت آزمایش‌های بدون گرداب‌شکن است و لیکن بیش‌ترین ضریب مربوط به نتایج حاصل سریز صاف است. براساس آزمایش‌های مربوط کم‌ترین میزان ضریب تخلیه مربوط به سرریز ۱۲ پلکانی، سپس سرریز سه، چهار و شش پلکانی است. ضخامت مربوط به گرداب‌شکن اگرچه بی‌اثر برروی جریان نیست و لیکن اثر قابل توجهی ندارد و در سرریزها با مجرای پلکانی بیش‌ترین اثر را برروی سرریز چهار پلکانی با ضخامت نه میلی‌متر دارد که میزان افزایش ضخامت تا ۲۰ میلی‌متر باعث کاهش دبی عبوری به میزان ۸ درصد می‌شود. لازم به ذکر است که اثر گرداب‌شکن با ضخامت ۲۰ میلی‌متر بر جریان در مقایسه با ضریب افت سرریز شاهد کاهش ضریب افت به میزان ۶ درصد را نشان می‌دهد.

منابع

Amphlett, M. B. and Anwar, H. O. (2002). Air -Entraining Vortices at a Horizontal Intake. HRS Wallingford, Report No: OD/7.

Anwar, H. O., Weller, J. A. and Amphlett, M. B. (1978). Similarity of Free Vortex at Horizontal Intake. Journal of Hydraulic Research,16 (2), pp: 95-100.

Beitz, E. and Lawless, M. (1992). Hydraulic model study for dam on GHFL 3791 Issac River at BurtonGorge. Water Resources Commission Report, Brisbane, Australia.

Bradley, J. N. (1952). Discharge coefficients for irregular overfall spillways. Denver,colorado.

Grawford & et al. (2003). Vortex-Flow Drop Structures. Proceeding of The IAHR/DVWK Symposium on Scale Effects in Modeling Hydraulic Structure. Paper: 6, 7.

Padmanabhan & Hecher. (2009). hydraulics of Skimming Flow on Modeled Stepped Spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 125 (5).