

تجزیه و تحلیل نظام جریان نمونه‌ی فیزیکی – هیدرولیکی قسمتی از سرریز سد ملاصدرا

امین رستمی راوری^۱

تاریخ دریافت: ۸۹/۳/۲۳ تاریخ پذیرش: ۸۹/۸/۱۸

چکیده

امروزه نقش سدها در زندگی بشر، به‌خصوص در کشورهای نظیر ایران، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های اساسی در توسعه‌ی پایدار و بهینه از منابع آب مشهود است. سرریز از سازه‌های مهم هر سد است که امکان خروج سیلاب‌های اضافه بر ظرفیت آن را میسر می‌سازد. از بین سرریزها، سرریز پیوند^۲ به خاطر بازدهی هیدرولیکی بالا، بیشترین کاربرد را دارد. ساخت نمونه‌ی فیزیکی به‌عنوان دقیقترین روش در بررسی این گونه سازه‌ها مطرح است. برای بررسی نظام جریان از روی قسمتی از سرریز پیوند سد ملاصدرا، نمونه‌ی فیزیکی آن با مقیاس ۱:۳۰ در ناوهی آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد مرودشت ساخته شد و آزمونهایی با بدهی‌های متفاوت انجام گردید. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، در بررسی نظام جریان، عملکرد صحیح سازه مستهلک کننده‌ی کارمایه در این سازه مورد تایید قرار گرفت. در بررسی اندازه‌ی استهلاک کارمایه نیز بر همین مساله تاکید گردید. ضریب C سرریز پیوند مدل ۲/۶۸ به‌دست آمد. همچنین، با تجزیه و تحلیل نظام جریان بر روی نمونه، وضعیت جریان تا بدهی حدود ۱۶۸۰ متر مکعب بر ثانیه در نمونه‌ی واقعی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مشکل هیدرولیکی خاصی در آن مشاهده نگردید.

واژه‌های کلیدی: استان فارس، روش‌های زمین‌آمار، روش‌های معین، نقشه‌ی همباران.

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

dr.aminrostami@yahoo.com

مقدمه

سرریزها، انواعی از سازه‌های آبی هستند که برای انتقال یا عبور سیلاب و آبهای اضافی از سراب به پایاب سدها، کاربرد دارند. طراحی سرریزها به عوامل متعددی از قبیل سیل طرح، نوع و محل سد و اندازه و نحوه بهره‌برداری از منبع بستگی دارد. غیر از مسائل اقتصادی، عواملی از قبیل دقت و اعتماد در پیش‌بینی‌های سیل، لرزه‌خیزی ساختگاه سد، دوره و مقدار سرریزی جریان، پستی و بلندی، زمینشناسی و نوع سد نیز در طراحی سرریزها مؤثرند. سرریزها به‌منظور تبدیل نظام جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی به کار می‌روند. در نتیجه در پایانهی این سازه امکان فرسایش زیاد است، بنابراین علاوه بر طراحی سرریزها، باید سازه‌های پراکنده کننده کارمایه را در پایاب سرریز بنا کرد [۱].

نمونه معمولاً به ابزاری اطلاق می‌شود که بتواند آینده را پیش بینی کند. چنین ابزاری معمولاً از روابط ریاضی بین علت و معلول استفاده می‌کند. در هیدرولیک نیز پدیده‌های متعددی وجود دارند که لازم است عملکرد آنها در مقابل متغیرهای مختلف پیش‌بینی شود. از این رو، ابزار نمونه کاربرد فراوانی در هیدرولیک دارد [۶]. ارزش یک نمونهی خوب، کارایی آن در تولید نتایجی قابل قبول و نزدیک به واقعیت است. یک نمونه، زمانی از دقت خوبی برخوردار است که با داده‌های صحرایی و آزمایشگاهی نیز واسنجی شده باشد. منظور از نمونهی فیزیکی و هیدرولیکی، ساختن نمونه‌ای از طرح واقعی، ولی با ابعاد کوچکتر است، به‌طوری که رفتارهای هیدرولیکی - پویایی در نمونهی کوچک شده منطبق با ساختمان واقعی باشد. پس به نمونهی واقعی^۱ پیش نمونه و به نوع کوچک شده آن اختصاراً نمونه^۲ اطلاق خواهد شد. مسلماً نمونه‌های فیزیکی - هیدرولیکی در مقایسه با شبیه ریاضی دارای مزایای کمتری می باشند، ولی از آنجا که رفتار هیدرولیکی در نمونهی فیزیکی به اصل شباهت بیشتری دارد و میتواند جریانهای سه بعدی سازه‌های اصلی را به راحتی تقلید کند. هنوز نمونه‌های فیزیکی - هیدرولیکی در هیدرولیک کاربرد گسترده‌ای دارند [۶].

بررسی پیشینه

موقعیت و مشخصات سد و سرریز سد ملاصدرا

سد ملاصدرا در شمال غربی استان فارس و بر روی شاخه‌ی اصلی رود کر در تنگ براق، واقع در ۶۰ کیلومتری بالادست سد درودزن در دست احداث است. فاصله‌ی محل سد از شیراز ۲۰۰ کیلومتر و از بخش سدهی اقلید ۲۰ کیلومتر می‌باشد. مشخصات سازه‌های سرریز این سد نیز به شرح جدول ۱ است [۷].

جدول ۱- مشخصات سرریز سد ملاصدرا

سیلاب طراحی	با دوره‌ی بازگشت ۱۰۰۰۰ سال
ظرفیت عبوری	۳۴۰ متر مکعب بر ثانیه
تراز حداکثر آب	۲۱۲۱/۱ متر از سطح دریا
عرض سرریز در محل اوجی	۸۸ متر
طول شوت	۵۰۰ متر
سیستم استهلاک انرژی	حوضچه‌ی استغراق
سیلاب طراحی حوضچه استغراق	۱۰۰۰ ساله

بررسی پیشینه تحقیقات سرریزهای پیوند

اولین تحقیقات آزمایشگاهی برای طراحی سرریزها حدود ۱۰۰ سال پیش به وسیله‌ی بازین (۱۸۸۰) که اولین نیمرخ سرریز را ارائه داده است، انجام گرفته است. وی با انجام آزمایشهایی سعی بر به دست آوردن روابطی بین تغییرات طول سرریز نسبت به ارتفاع داشت که نتایج خود را نتوانست تحلیل کند، ولی دیگر محققان از نتایج وی استفاده کردند [۴].

دیورنرگزیل و بیکر (۱۹۴۱) با استفاده از نظریه‌ی اندازه حرکت، روابطی را برای اندازه‌گیری بده در سرریزها به دست آوردند [۹].

در طول ۶۰ سال گذشته در تمام دانشگاه‌های دارای رشته‌ی هیدرولیک جهان، نیمرخهایی برای سرریز با اسامی مهندسين تهیه‌کننده‌ی آنها پیشنهاد شده است که کریگر، سیمیمی، اسمیتانا افیتسیرو، اسکاندی و هیات مهندسين ارتش ایالات متحده از معروفترین آنها می‌باشند [۴].

سبک روح (۱۳۸۶) با تعیین الگوی جریان در مورد نمونهی سرریز سطحی سد سلمان فارسی به این نتیجه رسید که در کمترین بدهی عبوری در مقطع کف سرریز جریان زیر

^۱ Proto Type

^۲ Model

بحرانی و در روی تاج جریان در حالت بحرانی و در بقیه‌ی مقاطع جریان فوق بحرانی می باشد [۵].
جلودار و همکاران (۱۳۸۷)، با بررسی سطح آزاد جریان آب از روی سرریزهای سطحی با استفاده از روش اجزاء محدود سازگاری خوبی را بین روش عددی و مقادیر تجربی نشان دادند [۳].

روش بررسی پدیده‌های هیدرولیکی با ساختن

نمونه‌ی فیزیکی

مطالعه در مورد یک پدیده‌ی هیدرولیکی یا بررسی عملکرد یک سازه‌ی هیدرولیکی در آزمایشگاه، طی چهار مرحله صورت می‌گیرد:

(۱) محاسبات نظری

(۲) ساخت نمونه

(۳) آزمون نمونه و اندازه‌گیری متغیرها

(۴) تجزیه و تحلیل نتایج

در مرحله‌ی اول، معمولاً با استفاده از علم تجزیه و تحلیل ابعادی، معادلات کلی لازم استخراج می‌گردند. همچنین با استفاده از اصول تشابه‌سازی روابط لازم با توجه به نوع نیروی غالب، تعیین می‌شوند. سپس در خصوص نوع و مقیاس نمونه و محدوددهی متغیرهایی که بایستی در آزمایشگاه رعایت و یا اندازه‌گیری شوند، تصمیم اتخاذ می‌گردد.

در مرحله‌ی بعد با توجه به فضای مورد نیاز و دسترسی به امکانات ویژه در خصوص انتخاب مصالح مورد نیاز و محل استقرار نمونه در آزمایشگاه نمونه ساخته می‌شود. مرحله‌ی سوم، کاربرد نمونه و اندازه‌گیری متغیرها می‌باشد، ممکن است این مرحله چندین ماه به طول انجامد. ممکن است در طی این مرحله، با توجه به جمع‌بندی نتایج به‌دست آمده، تغییراتی در نمونه داده شده و آزمایشها چندین بار تکرار گردند [۶].

هرچند ممکن است اجرای مرحله چهارم گهر شایانی را به مهندس طراح برای بهینه‌سازی کارش ارائه دهد، انجام آن بلافاصله پس از پایان مرحله سوم توصیه نمی‌شود. چه در برخی موارد، تکرار آزمایشها الزامی است. در مرحله‌ی انجام آزمایشها، ضرورت دارد از کلیه‌ی مراحل ساختن و آزمونها عکس و فیلم تهیه گردد. تهیه‌ی گزارش نهایی، شامل کلیه‌ی کارهای انجام شده در مراحل چهارگانه،

آخرین مسئولیت مجری طرح می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با رسم نمودارهای مختلف بایستی آرایه شده و نتایج نهایی نیز ارائه گردند. همچنین لازم است پیشنهادهایی نیز برای بهبود طرح ارائه شوند [۱۰].

مواد و روشها

موقعیت، مشخصات و ابعاد ناوهی^۱ آزمایشگاه

جهت انجام این تحقیق از ناوهی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت استفاده گردید. ناوهی مزبور از جنس شیشه سکوریت با ضخامت ۱۰ میلی‌متر می‌باشد که بر روی سازه و پایه‌هایی فلزی قرار گرفته است. همچنین این فلوم قابلیت تغییر شیب را دارد تا بتوان شیبهای مختلفی را برای انجام آزمایشها تأمین کرد. عرض ناوه ۰/۵ متر و طول آن ۸ متر است. ارتفاع ناوه در ۳ متر ابتدایی ۱ متر و در ۵ متر باقیمانده، ۰/۵ متر می‌باشد. این ناوه در ارتفاع ۱/۲ متری از سطح زمین قرار گرفته است. کف ناوه در ۰/۵ متر ابتدایی آن، به دلیل اتصال لوله ورودی آب، از ورق آهن سفید بوده و بقیه از جنس شیشه سکوریت است.
مخزن ۲۰۰۰ لیتری تأمین آب در ارتفاع ۴ متری از سطح زمین قرار داشته و قابلیت تأمین بدهی تا ۳۰ لیتر بر ثانیه را دارد. ناوهی مزبور مجهز به یک سامانه‌ی بسته‌ی چرخه آب است که به وسیله‌ی یک تلمبه‌ی گریز از مرکز، چرخه را تأمین می‌کند. یک مخزن نیز در انتهای ناوه دارای ۸۰۰ لیتر گنجایش برای جمع کردن آب و سپس برگرداندن آن به مخزن تغذیه تعبیه شده است. در انتهای ناوه نیز شیاری برای قراردادن سرریز مثلثی جهت تعیین دقیق بدهی عبوری تعبیه شده است.

روش ساخت نمونه

برای بازسازی یک پدیده و یا یک سازه در شرایط آزمایشگاهی، باید آن را به مقیاس کوچکتر تبدیل کرد. در این بررسی با توجه به شکل اصلی سرریز و ابعاد آن و همچنین محدودیتهای موجود در آزمایشگاه از قبیل بده قابل تأمین و ابعاد ناوهی موجود، مقیاس ۱:۳۰ برای ساخت نمونه تعیین گردید.

^۱ Flume



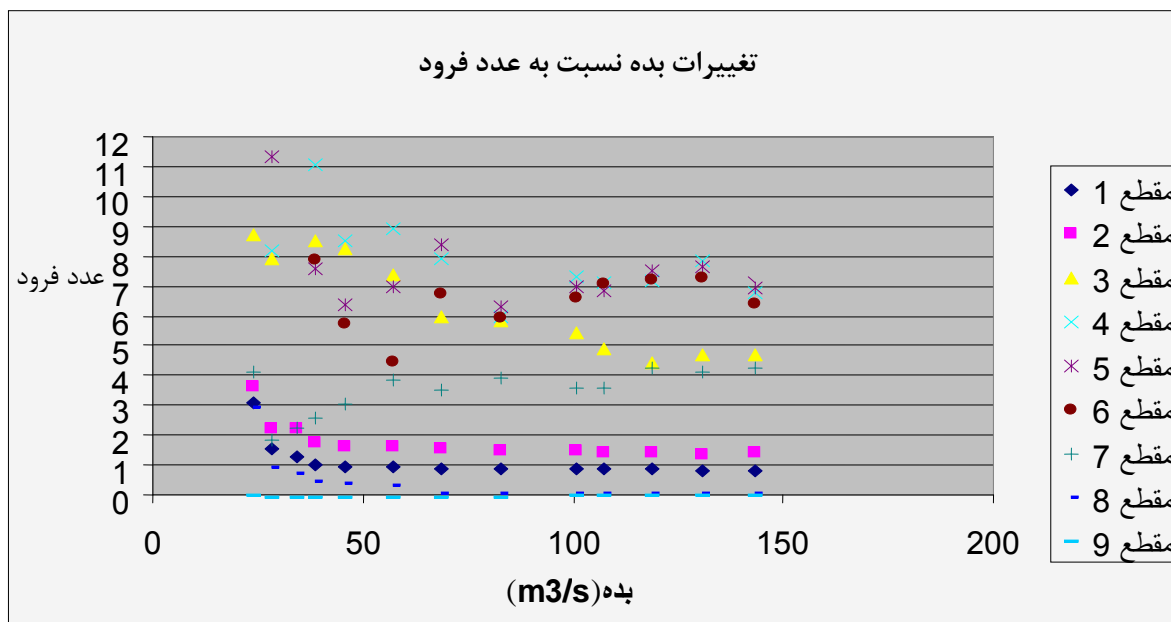
شکل ۱- نمای ناوهی مورد استفاده در آزمایش



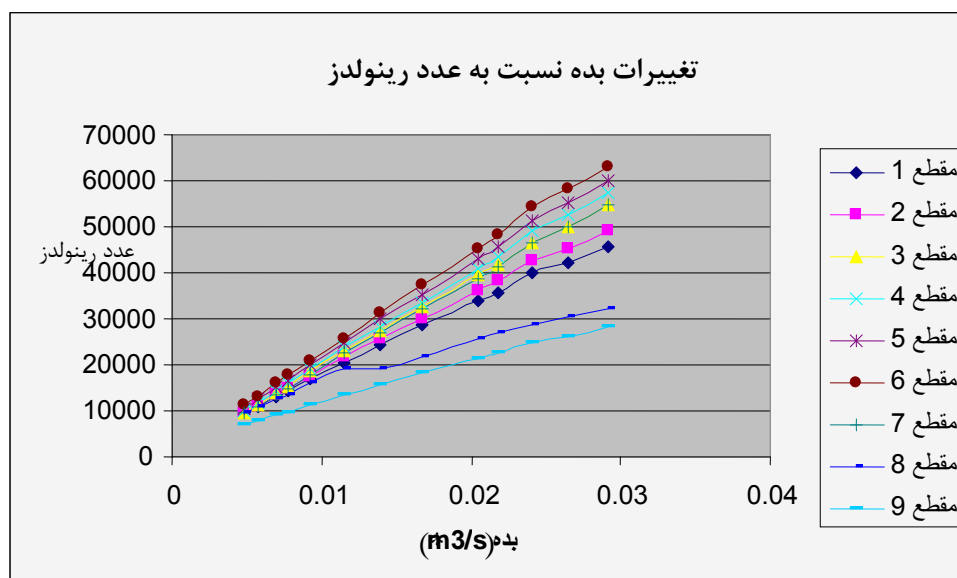
شکل ۲- ساخت بدنهی اصلی نمونه سرریز درون ناوه



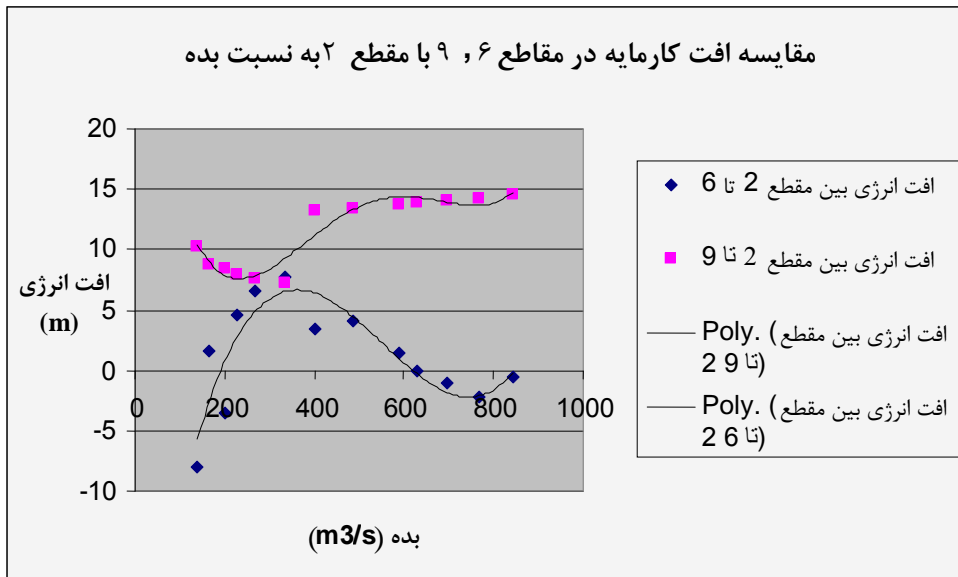
شکل ۳- سرریز و تنداب نمونه از روبرو



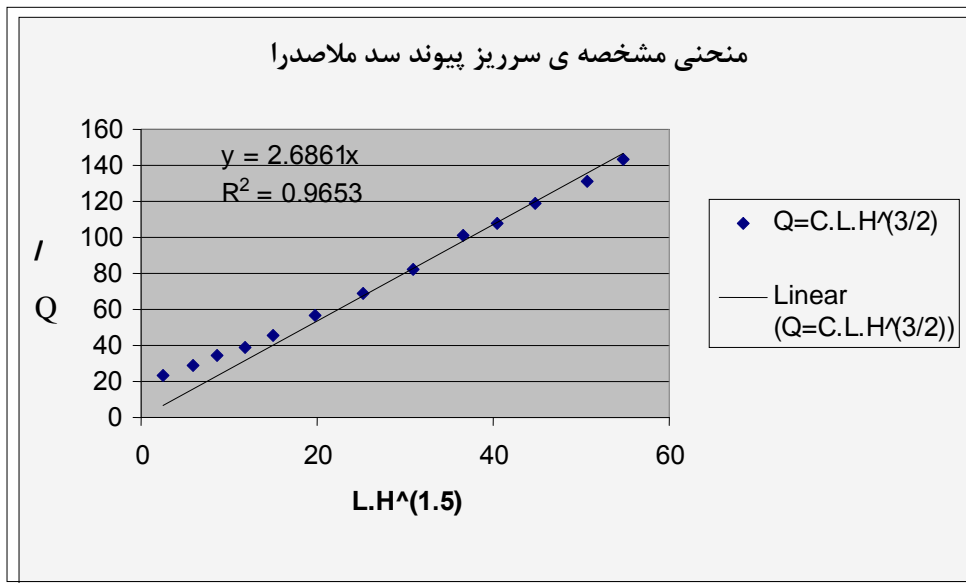
شکل ۴- منحنی تغییرات عدد فرود در مقاطع مختلف با بدهی جریان



شکل ۵. منحنی تغییرات عدد رینولدز نسبت به بدهی جریان



شکل ۶. منحنی تغییرات افت کارمایه در مقاطع ۶ و ۹ با مقطع ۲ به نسبت بده جریان



شکل ۷. منحنی مشخصه سرریز پیوند سد ملاصدرا

- نقطه‌ی ۹: ارتفاع آب عبوری مؤثر بر سرریز مثلی 60° در انتهای ناوه که جهت به دست آوردن بدهی عبوری جریان استفاده می‌گردد.

همچنین، با قرار دادن دماسنج در انتهای ناوه، برداشت دما در هر آزمایش انجام گردید.

روش آزمایش و اندازه‌گیری

مبنای تنظیم بدهی‌های مورد آزمایش، شیر آب خروجی از مخزن تغذیه است. آزمایش از بدهی‌هایی بسیار کم تا بیشترین آن (حدود ۳۰ لیتر بر ثانیه) و طی ۱۳ آزمون مختلف انجام گردید. در تمام آزمون‌ها دمای آب، برای به‌دست آوردن گرانشی سیال تعیین گردید.

برای محاسبه‌ی بدهی جریان، با استفاده از منحنی واسنجی سرریز مثلی انتهای ناوه، انجام گردید. محاسبات هیدرولیکی، بر پایه‌ی بدهی‌ها و مشخصات مقاطع مختلف و با استفاده از روابط زیر، صورت گرفت.

برای محاسبه‌ی بده در واحد عرض و سرعت جریان در هر مقطع، با داشتن عرض ثابت ناوه معادل ۰/۵ متر داریم:

$$Q = A.V \Rightarrow q = y.V \quad (1)$$

که در آن Q ، بده، A سطح مقطع جریان، V میانگین سرعت جریان، q بده در واحد عرض، و y عمق جریان در مقطع مورد نظر می‌باشند.

برای محاسبه‌ی عمق بحرانی y_c ، نیز از رابطه‌ی زیر داریم:

$$y_c = \sqrt[3]{q^2/g} \quad (2)$$

عدد فرود Fr ، در نمونه حاضر از رابطه‌ی زیر محاسبه گردید:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g.y}} \quad (3)$$

گرانشی سیال نیز با توجه به دما و استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\theta = \frac{1.792 \times 10^{-6}}{(1 + 0.0337T + 0.000221T^2)} \quad (4)$$

که در این رابطه θ ، گرانشی جنبشی سیال و T دمای آن بر حسب درجه سانتیگراد است.

با داشتن گرانشی سیال و سایر فراسنجه‌ها عدد رینولد نیز از این رابطه محاسبه گردید:

$$Re = \frac{v.R}{\theta} \quad (5)$$

مصلح لازم برای ساختن سرریز و تنداب آن، شامل ورق پلکسی گلاس با ضخامت ۳ میلیمتر، اسفنج پلاستیکی با ضخامت ۲۰ میلیمتر، چوب، ورق آهن سفید و چسب آکواریوم شفاف می‌باشند.

ابتدا نقشه‌های از نمای جانبی سرریز، با توجه به مقیاس تعیین شده، تهیه گردید، سپس دیوارهای جانبی سرریز، با قراردادن نقشه جانبی بر روی اسفنج پلاستیکی و برش دادن آن ساخته شد. در مرحله بعد، یک سازه‌ی چوبی با توجه به ابعاد بدنه‌ی سرریز، به‌عنوان پایه و استحکام دهنده‌ی آن ساخته شد. سپس سازه‌ی چوبی را در مکانی مناسب به کف ناوه چسبانده و صبر کردیم تا کاملاً خشک شود.

برای ساختن بخشهای منحنی و بدون انحنای سرریز، به ترتیب از ورقهای آهن سفید و پلکسی گلاس استفاده شد. پس از تکمیل مراحل ساختن سرریز، تنداب آن نیز ساخته شد. برای افزایش پایداری و جلوگیری از ایجاد انحنای در کف تند آب بر اثر نیروی وزن آب، پایه‌هایی از جنس اسفنج پلاستیکی در زیر آن قرار داده شد.

محلای اندازه‌گیری فراسنجه‌ها

مهمترین و حساسترین قسمت هر آزمایش، داده برداری آن است. جهت اندازه‌گیری ارتفاع آب، از خطکش میلیمتری با دقت ۰/۵ میلیمتر استفاده گردید. ارتفاع آب

در ۹ مقطع از نمونه به شرح زیر تعیین گردید:

- نقطه‌ی ۱: ارتفاع مؤثر آب عبوری از روی تاج سرریز،

- نقطه‌ی ۲: ارتفاع آب روی تاج سرریز،

- نقطه‌ی ۳: ارتفاع آب در میانه بدنه پایین دست سرریز،

- نقطه‌ی ۴: ارتفاع آب در ابتدای تند آب (این نقطه از تند

آب هم عرض ناوه بوده و با نزدیک شدن به سوی پایین

دست تند آب عرض آن کمتر میشود).

- نقطه‌ی ۵: ارتفاع آب در میانه‌ی مسیر تند آب،

- نقطه‌ی ۶: ارتفاع آب در انتهای تند آب،

- نقطه‌ی ۷: ارتفاع اولیه‌ی پرش هیدرولیکی (در کلیه

بدهی‌ها، در داخل ناوه رخ میدهد).

- نقطه‌ی ۸: ارتفاع ثانویه پرش هیدرولیکی (در بدهی‌های

کم در داخل ناوه و در بدهی‌های زیاد بیرون ناوه رخ میدهد

که قابل برداشت نیست).

بررسی مقاطع، مشخص است که بیشترین عدد رینولد مشاهداتی مربوط به مقطع ۶، یعنی درون حوضچهی آرامش و همراه با تلاطم جریان و کمترین عدد رینولد مشاهداتی مربوط به مقطع ۹ و خروجی جریان از سازههای مستهلککننده است. در نتیجه، ضمن تایید نتیجهی وضعیت جریان، طراحی مناسب سازهی مستهلککننده جریان را نیز به همراه دارد. اما نکتهی قابل توجه، متلاطم بودن نظام جریان در کلیهی مقاطع مشاهداتی میباشد.

بررسی میزان استهلاك کارمایه در سازه نسبت به

بدهی جریان

با توجه به شکل ۶، در بررسی اندازهی افت کارمایه در سازه، به سه موقعیت کارمایه در بالای سرریز پیوند(مقطع ۲) نسبت به کارمایه در حوضچهی آرامش(مقطع ۶) و همچنین کارمایه در خروجی از سازهی مستهلککنندهی کارمایه(مقطع ۹) توجه شده و تغییرات کارمایه در این مقاطع نسبت به تغییرات بده در آزمایشهای انجام شده صورت گرفته است.

در این شکل و با توجه به تغییرات بده بین مقطع ۲ تا ۶، روند تغییرات به صورت منحنی سینوسی است که در ابتدا روند افزایشی از مقدار منفی شروع شده و تا بدهی حدود ۳۸۰ مترمکعب بر ثانیه در نمونه اصلی، ادامه مییابد. پس از آن، روند نزولی اما با شیب کمتری دیده می شود و مجدداً در بدههای بعدی، همین منحنی سینوسی ادامه پیدا میکند که به نظر میرسد این مساله به واسطهی وجود تلاطم درون حوضچه و اثر افزایش ارتفاع سرعت در کارمایه به نسبت افزایش بدهی جریان نسبت به ارتفاع مؤثر کارمایه بر روی سرریز باشد.

اما در بررسی روند تغییرات افت کل کارمایه از مقطع ۲ تا مقطع ۹ که مسالهی اصلی مورد بحث در این قسمت است، روند تغییرات افت کارمایه با بده در ابتدا یک روند نزولی دارد، اما از حدود بدهی ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه، روند صعودی افت کارمایه شروع شده و در بدهی ۶۰۰ لیتر بر ثانیه این روند به صورت تقریباً خطی و ثابت میشود که نشاندهندهی عملکرد صحیح سازهی مستهلککننده کارمایه جریان در محدودهی آزمایشها میباشد.

که در آن Re ، عدد رینولد و R شعاع هیدرولیکی در مقطع مورد نظر است.

کارمایه در هر مقطع نیز از رابطه ی زیر محاسبه گردید:

$$E = y + \frac{v^2}{g} \quad (۶)$$

که در آن E کارمایه مخصوص در هر مقطع و g ثابت گرانشی است، V و y پیشتر تعریف شده اند [۲].

در ضمن، جهت محاسبهی ضریب بدهی نمونهی سرریز پیوند مزبور از رابطهی کلی سرریزهای لبه تیز مستطیلی به صورت زیر استفاده گردید:

$$Q = C.L.H_a^{3/2} \quad (۷)$$

که در آن، Q بدهی سرریز، C ضریب آبگذری سرریز پیوند، L عرض موثر سرریز و H_a ارتفاع موثر آب روی سرریز میباشد [۸].

تجزیه و تحلیل نظام جریان، با توجه به داده برداریها و محاسبات مذکور انجام گرفت.

نتایج

بررسی وضعیت جریان در تغییرات عدد فرود نسبت

به بده آن

با توجه به شکل ۴، در بررسی وضعیت جریان، مشخص است که بیشترین عدد فرود مشاهده شده مربوط به مقاطع ۴ و ۵ از نمونه و کمترین آن مربوط به مقطع ۹ میباشد. با توجه به مرز بحرانی جریان، همانگونه که انتظار میرفت، جریان در مقطع ۲ یعنی روی سرریز، بحرانی و مقطع تعیینکننده است. در ضمن، جریان در مقاطع ۸ و ۹ یعنی در خروجی از سازهی مستهلککننده، کارمایهی نمونه زیر بحرانی است که این پدیده نشاندهنده عملکرد صحیح سازهی مستهلککننده و طراحی مناسب آن در محدودهی آزمایشهای ما میباشد. در بقیهی مقاطع، مطابق انتظار جریان فوق بحرانی مشاهده میگردد.

بررسی نظام جریان در تغییرات عدد رینولد نسبت

به بده آن

با توجه به شکل ۵، در بررسی نظام جریان، واضح است که در تمام موارد و مطابق انتظار، روند تغییرات عدد رینولد نسبت به بده بهصورت تقریباً خطی و صعودی میباشد. در

بررسی ضریب آبگذری سرریز پیوند در نمونه

باتوجه به استفاده از رابطه (۸) در محاسبه‌ی بدهی عبوری از روی سرریز نمونه و تطبیق آن با توجه به مقیاس در نظر گرفته شده با نمونه‌ی اصلی یک پیشبینی برای ضریب بدهی جریان عبوری از روی این سرریز بهعمل آمد و ضمن تعیین این ضریب برابر با $2/68$ ، معادله‌ی مشخصه این سرریز پیوند نیز به صورت زیر ارائه گردید:

$$Q = 2.686L \cdot H_d^{1.5} \quad (8)$$

که در آن، بده بر حسب مترمکعب بر ثانیه، L طول موثر سرریز و H_d ، ارتفاع موثر آب روی سرریز پیوند است.

خلاصه نتایج

با توجه به تجزیه و تحلیل نتایج داده‌ها و تحلیل نظام جریان در نمونه‌ی فیزیکی سرریز سد ملاصدرا، عملکرد سازه مستهلککننده‌ی جریان مناسب ارزیابی میشود. سرریز پیوند نمونه‌ی فیزیکی نیز در محدودهی بدهی مورد آزمایش از لحاظ هیدرولیکی بدون مشکل میباشد. همچنین، با اندازه‌گیریهای دقیق و محاسبات انجام گرفته، معادله منحنی مشخصه سرریز پیوند سد ملاصدرا ارائه گردید.

تقدیر و تشکر

در این جا لازم میدانم که از مسوولان و معاونت محترم پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت که همکاری صمیمانه‌ی در انجام این تحقیق با اینجانب داشته‌اند و همچنین مسوول آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه و دانشجویانی که در انجام آزمایشهای این تحقیق همکاری داشته‌اند، کمال تشکر را داشته باشم.

منابع

- ۱- ابریشمی ج، حسینی م. ۱۳۸۴. هیدرولیک کانالهای باز. چاپ دوازدهم انتشارات آستان قدس رضوی.
- ۲- بیرامی م. ۱۳۸۲. سازه‌های انتقال آب. چاپ چهارم مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۳- جلودار ز، گلماهی ح، ضیاء تباراحمدی م. و رحمانی فیروزجانی ع. ۱۳۸۷. تعیین پروفیل سطح آزاد جریان آب روی سرریزهای اوجی با استفاده از روش اجزای محدود، سومین کنفرانس هیدرولیک.
- ۴- دستورانی، م. ۱۳۸۶. تاثیر رسوبات پشت سرریز اوجی بر ضریب تخلیه و شرایط جریان، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شیراز.
- ۵- سبک روح، م. و رستمی راوری، ا. ۱۳۸۴، تعیین الگوی جریان خروجی از باکت قسمتی از مدل سد سلمان فارسی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروز آباد.
- ۶- شفاعی بجستان م. ۱۳۸۴. مبانی و کاربرد مدل‌های هیدرولیکی- فیزیکی، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۷- مجموعه گزارشات دفتر مطالعات سد ملاصدرا و شرکت سهامی آب و منطقه ای فارس.
- 8- Cassidy, J. J., 1970. Designing spillway crests for high- head operation, ASCE. Journal of the hydraulics division. Vol., 96. No., 3. March 1970. Pp., 745- 753.
- 9- Deoringsfeld, H. A., and Barker, C. L. (1941). "Pressure momentum theory applied to the broad crested weir", Transactions ASCE. Vol., 106. Pp., 934-946.
- 10- Savage, B. M., and Johnson, M., " Flow over ogee spillway: physical and numerical model case study". Journal of hydraulic engineering, Vol., 127. No., 8. August 2001. Pp., 640- 649.

