تحلیل نمونه ی فیزیکی سرریزسطحی سد سیوند

امین رستمی راوری[۱]، سهراب نظری[۲]، غلامحسین یوسفی*[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۹/۱۵

چکیده

امروزه نقش سدها در زندگی بشر، به‌خصوص درکشورهایی نظیر ایران، به‌عنوان یکی از زیرساخت‌های اساسی درتوسعه‌ی پایدار و بهینه از منابع آب مشهود است. سرریز از سازه‌های مهم هر سد می‌باشد که امکان خروج سیلاب‌های اضافه بر ظرفیت آبگیر سد را میسر می‌سازد. به عبارت دیگر، تنظیم ارتفاع و حجم آب دریاچه‌ی پشت سد از دیگر کاربردهای مهم سرریزهاست. از بین سرریزها، سرریز سطحی، به‌خاطر بازده هیدرولیکی بالا، بیشترین کاربرد را دارد. با توجه به این واقعیت که انجام آزمایش به‌عنوان دقیق‌ترین روش در بررسی مسائل و مشکلات پیش روی این گونه سازه‌ها مطرح می‌باشد، محققان و طراحان را بر آن داشته است تا با ساختن نمونه‌ی فیزیکی از سازه‌ی طراحی شده و انجام آزمایشات، از جنبه‌های پنهان پدیده با بهره‌وری آزمایش‌ها از شبیه‌سازی جریان‌های واقعی پرده بردارند. جهت بررسی وضعیت جریان بر روی قسمتی از سرریز سطحی سد سیوند نمونه‌ی فیزیکی سرریز سطحی با مقیاس ۱:۱۰۰ در نهر پایه دار آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت با مصالحی از قبیل ورق پلکسی گلاس، اسفنج مصنوعی، طلق، چوب و غیره ساخته شد. عملیات داده برداری در ۱۴ مرحله با بده‌هایی متفاوت انجام گردید. پس از تجزیه و تحلیل داده‌ها، عدد فرود در تندآب به‌دلیل افزایش سرعت، دارای بیشترین مقدار و در مقاطع بین سرریزسطحی اصلی و سطحی تنظیم‌کننده، به‌علت استغراق ایجاد شده، دارای کمترین مقدار می‌باشد. ضریب C سرریز سطحی نمونه، ۱/۷۹۶ محاسبه گردیده است. همچنین، با توجه به تحلیل وضعیت نمونه جریانی تا بده‌ی حدود ۲۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه برای آن شبیه‌سازی شد و مشکلی در آن مشاهده نگردید. با توجه به فراسنج معیار عدد حفره‌سازی بحرانی در بعضی آزمایش‌ها، سازه‌ی سد با تخریب روبرو است، از این رو احداث مجراهای هوادهی در نقاطی از مقطع خروجی سرریز توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سد سیوند، سرریزهای سطحی، نمونه‌ی فیزیکی، حفره‌سازی، عدد فرود.

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

۲ - استادیار و عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اقلید.

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت.

* نویسنده مسؤول مقاله،gholamhosseinyosefi@yahoo.com

مقدمه

یکی از اهداف بشر، مهارکردن، ذخیره‌سازی و استفاده بهینه از آب‌های سطحی است. بهره‌برداری از منابع آب سطحی و زیرزمینی و انتقال آب از مکانی به مکانی دیگر به‌منظورهای آبیاری و آبرسانی به‌عنوان یک ضرورت حیاتی، از آغاز زندگی مورد نظر بشر بوده است. در میان روش‌های مختلف ذخیره‌ی آب، از دیرباز سدها به‌عنوان سازه‌ای که حجم قابل توجهی از آب را در اختیار در می‌آورند، جایگاه ویژه‌ای داشته‌اند. در تمام کشورها، سدسازی از سیاست‌ها و سرمایه‌گذاری‌ها می‌باشد. یکی از سازه‌های مهمی که همزمان با ساخت سدها مورد نیاز واقع شده و امکان خروج سیلاب‌های اضافه بر ظرفیت آبگیر سد را میسر می‌سازد، سرریز نام دارد؛ به عبارت دیگر، یکی از کاربردهای مهم سرریزها، تنظیم ارتفاع و حجم آب دریاچه پشت سد بوده و یکی از سازه‌های مورد بحث در شبیه‌سازی، سرریز سدها می‌باشد که به واسطه‌ی اهمیت بسیار زیاد آن در طرح‌های سدسازی مورد توجه ویژه قرار گرفته است(ابریشمی و حسینی، ۱۳۸۴).

سرریز از جمله مهم‌ترین و گران‌ترین بخش‌های سازه‌ی سد می‌باشد که برای به یقین رسیدن در درست کار کردن سازه‌ی مزبور، نمونه‌ی فیزیکی– هیدرولیکی آن در مقیاسی کوچک ساخته شده و آزمایش‌های پرشماری، برای پیش‌بینی پدیده‌های هیدرولیکی، با کاربرد آن انجام می‌گیرند. منظور از نمونه‌ی فیزیکی- هیدرولیکی، ساختن نمونه‌ای از طرح واقعی ولی با ابعاد کوچک‌تر است، به‌طوری که رفتارهای هیدرولیکی- پویایی در نمونه‌ی کوچک شده منطبق با نمونه‌ی واقعی باشد(شفاعی بجستان،۱۳۸۴).

نمونه‌های هیدرولیکی می‌توانند موجب بیمه‌ی نسبتاً ارزان طرح گشته و عدم قطعیت یک طرح یا روش اجرایی را کاهش دهند. عملکرد سازه‌های هیدرولیکی به دلیل سرمایه‌گذاری‌های بسیار کلان این سازه‌ها و همچنین به لحاظ احتمال زیان‌های هنگفت جانی و مالی که در صورت ویرانی و عدم طراحی مناسب به بار خواهند آورد، باید قبل از اجرا در آزمایشگاه در مقیاس کوچکتری مورد آزمایش قرار گیرند(سبک روح،۱۳۸۶).

سد مخزنی سیوند در فاصله‌ی ۹۰ کیلومتری شمال شرقی شیراز و ۱۴ کیلومتری شمال باختری سعادت شهر (مرکز شهرستان پاسارگاد) در استان فارس با مختصات جغرافیایی ۵۳ درجه و ۵ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه و ۹ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. رود سیوند پس از عبور از دشت‌های بالادست(مرغاب) و دشت‌های پایین‌دست(سعادت شهر- مرودشت) در محل پل‌خان به رود کر می‌پیوندد که مهار کردن سیلاب‌های زمستانه و بهاره حوضه آبخیز رود سیوند به‌منظور جلوگیری از خسارات ناشی از آن، تأمین آب شرب و صنعت منطقه، توسعه‌ی آبیاری ۱۷۰۰ هکتار از اراضی سعادت شهر و ۹۰۰۰ هکتار از اراضی توابع ارسنجان و بهبود و تامین آب اراضی آبخور طرفین رود سیوند درحدفاصل سد سیوند و پل‌خان از عمده‌ترین اهداف سد سیوند می‌باشند. سامانه‌ی تخلیه‌ی سیلاب و استهلاک کار مایه در سد سیوند عبارت است از سرریز دریچه‌دار به همراه سرریز سطحی مهارکننده، تنداب و سرریز پلکانی که در نهایت جریان به درون حوضچه‌ی استغراق ریخته و از آن به‌وسیله‌ی نهر به رود هدایت می‌گردد(بی نام،۱۳۷۲).

هدف از مطالعه قسمتی از نمونه‌ی سرریز سد سیوند تعیین دقت و بهبود شرایط هیدرولیکی سامانه‌ی تخلیه‌ی سیلاب و استهلاک کارمایه می‌باشد که مطالعه‌ی شرایط کلی جریان در سرریزسطحی جهت تعیین شکل خطوط جریان، نیمرخ سرعت، فراسنج‌های هیدرولیکی و مطالعه‌ی فراسنج‌های حفره‌سازی از موارد مورد بررسی نمونه می‌باشند. در این تحقیق قسمتی از نمونه‌ی سرریز سد سیوند در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت ساخته و با انجام چند آزمایش به بررسی وضعیت جریان بر روی قسمتی از سرریز سطحی سد سیوند پرداخته شد.

پیشینه‌ی تحقیقات

برای طراحی سرریزها و جریان‌های حاکم بر آنها، نمونه‌سازی هیدرولیکی و مسائل مربوط به آن تحقیقات بسیاری انجام گرفته‌اند.

اولین تحقیقات آزمایشگاهی برای طراحی سرریزها حدود ۱۰۰ سال پیش به‌وسیله بازین(۱۸۸۰) که اولین نیمرخ سرریز را ارائه داده است، انجام گرفته است. نامبرده با انجام آزمایش‌هایی سعی بر به‌دست 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(دستورانی،۱۳۸۶).

بارکر و همکاران(۱۹۴۱) با استفاده ازنظریه‌ی اندازه حرکت، روابطی را برای اندازه‌گیری بده در سرریزها به‌دست آوردند.

بریدلی و پترکا(۱۹۵۷) تحقیقات بسیاری را در مورد تعیین سرعت در پای سرریز جهت استفاده در محاسبه‌ی عدد فرود و طراحی حوضچه‌ی آرامش، انجام دادند که در نتیجه، از نمودار ارائه شده می‌توان سرعت واقعی را برحسب سرعت نظریه به‌دست آورد.

فالوی(۱۹۸۲) نشان داد که سرریزهای دالانی سازمان احیای اراضی آمریکا(USBR) با شاخص حفره‌سازی ۰/۲ یا بالاتر، از صدمات ناشی ازحفره‌سازی مصون‌اند، اما چنان‌چه شاخص مزبور حفره‌سازی کمتر از ۰/۲ باشد، عموماً خرابی‌هایی رخ می‌دهد.

در طول ۶۰ سال گذشته در تمام دانشگاه‌های دارای رشته‌ی هیدرولیک جهان، نیمرخ‌هایی برای سرریز با اسامی مهندسین تهیه‌کننده‌ی آنها پیشنهاد شده است که کریگر، سیمیمی، اسمیتانا افیتسیرو، اسکاندی و هیات مهندسین ارتش ایالات متحده از معروف‌ترین آنها می‌باشند(دستورانی،۱۳۸۶).

ساوژ و جانسون(۲۰۰۱) به بررسی جریان عبوری از روی سرریز سطحی با کاربرد نمونه‌های فیزیکی و ریاضی پرداختند. آزمایش‌ها در ۱۰ بده‌ی مختلف انجام شدند که تطابق خوبی را بین شبیه‌های عددی و فیزیکی برای فشار و بده گزارش دادند.

پاگلیارا و هگر(۲۰۰۶) با مطالعه در مورد میزان آبشستگی اعلام داشتند که حرکت مواد بستر به دلیل عدم استهلاک کارمایه‌ی فشانه باعث ایجاد حفره آبشستگی می‌گردد که پیامد آن شکستن سد و یا سرریز می‌باشد. بدین ترتیب به نامبردگان لزوم مطالعه را در مورد شبیه‌سازی پیش از احداث سازه متذکر شدند.

سبک روح(۱۳۸۶) با تعیین الگوی جریان در مورد نمونه‌ی سرریز سطحی سد سلمان فارسی به این نتیجه رسید که درکمترین بده‌ی عبوری در مقطع کف سرریز جریان زیر بحرانی و در روی تاج جریان درحالت بحرانی و در بقیه‌ی مقاطع جریان فوق بحرانی می‌باشد.

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.

نجفی و همکاران(۱۳۸۷) با بررسی پایه‌های تاج سرریز در خصوصیات جریان بر روی یک سرریز بلند با و بدون هوادهی مصنوعی، به این نتیجه دست یافتند که درحالت بدون هوادهی جریان، کمترین تأثیر پایه‌ها بر روی پرتاب کننده‌ی جامی و بیشترین تأثیر پایه‌ها بر روی تاج سرریز بوده است. با هوادهی جریان، تغییرات بیشتری در انتهای تنداب سرریز و نیز بر روی پرتاب‌کننده‌ی جامی مشاهده شده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از نهر پایه دار آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت استفاده گردید. نهر پایه‌دار از جنس شیشه‌ی سکوریت ۱۰ میلی‌متری جهت مشاهده جریان و رفتار و خصوصیات آن می‌باشد که بر روی اسکلت و پایه‌هایی از آهن قرار گرفته است. طول نهر پایه‌دار ۸ متر و عرض آن ۰/ ۵ متر بوده و بر روی پایه‌ای به ارتفاع معادل ۱/۲ متر از سطح زمین قرار گرفته است. ارتفاع نهر پایه‌دار در ۳ متر ابتدایی ۱ متر و در ۵ متر دیگر ۰/ ۵ متر می‌باشد. پایه‌های انتهایی نهر پایه‌دار قابلیت تغییر ارتفاع را دارند تا بتوانند شیب‌های مختلفی را برای انجام آزمایش تامین کند. به جز یک متر ابتدایی کف نهر پایه دار که به‌علت اتصال لوله به آن از صفحه‌ی فلزی ۲ میلی‌متری ساخته شده است، بقیه‌ی قسمت‌ها از شیشه می‌باشد. این نهر پایه‌دار مجهز به سامانه‌ی گردش بسته‌ی آب است که قابلیت تامین حداکثر بده‌ی تا ۳۵ لیتر برثانیه را دارد. مخزن تامین آب به حجم ۲۰۰۰ لیتر در ارتفاع حدود ۳ متری از سطح زمین در خارج آزمایشگاه قرار گرفته است. در انتهای نهر پایه‌دار مخزنی با حجم ۸۵۰ لیتر جهت جمع کردن آب و سپس تلمبه‌زنی آن به مخزن تغذیه و تامین آب، وجود دارد که تلمبه‌زنی به‌وسیله‌ی یک تلمبه‌ی گریز از مرکز انجام می‌شود. در انتهای نهر پایه‌دار، محلی برای قرار دادن سرریز جهت تعیین بده تعبیه شده است. با توجه به شرایط آزمایشگاه و بده‌ی طرح PMF[۴] (حدود ۶۰۰۰ مترمکعب بر ثانیه) مقیاس۱:۱۰۰ جهت نمونه‌سازی انتخاب گردید که با توجه به مشخصات اصلی سرریز سطحی و سطحی تنظیم کننده و تندآب و براساس

۴- حداکثر سیل محتمل(Probable Maximum Flood)

معادله‌ی سرریز سطحی و نقشه‌های سرریز، در ابتدا به‌وسیله‌ی نرم افزارAuto CAD نقشه‌های مورد نیاز ترسیم و بر روی ورق اسفنج مصنوعی ۵ میلی‌متری پیاده گردید. لازم به ذکر است که سرریز سطحی سد سیوند از نوع دو قوسی می‌باشد. پس از آماده نمودن اسفنج‌های موردنیاز طبق قوس خارجی و داخلی سرریز، آنها را بر روی یک صفحه پلکسی گلاس ۴ میلی‌متری با کاربرد چسب مخصوص چسبانیده، سپس صفحه‌ی پلکسی گلاس را با توجه به ارتفاع مورد نظر در نهر پایه‌دار قرارداده و جهت یکنواخت کردن سطح رویی سرریز سطحی، از طلق کاملاً شفاف و به ضخامت ۱ میلی‌متر استفاده شد. در ضمن، فاصله‌ی بین سرریز سطحی و سطحی تنظیم کننده که حدود ۱۰۲ سانتی متر بود که به‌وسیله‌ی ورق پلکسی گلاس ۴ میلی‌متری پوشانده شد. در ادامه، براساس معادله‌ی طراحی شده، نقشه‌ی ترسیم شده‌ی سرریز سطحی تنظیم‌کننده‌ی همانند سرریز سطحی اصلی، بر روی اسفنج ۵ میلی‌متری پیاده گردید، بر روی ورق پلکسی گلاس داخل نهر پایه‌دار چسبانده شد و سطح رویی آن نیز به‌وسیله‌ی طلق پوشانده شد. بعد از سرریز سطحی تنظیم‌کننده، سازه‌ی تندآب به طول ۱۴۰ سانتی‌متر و با شیب ۴ درصد با کاربرد ورق پلکسی گلاس ساخته شد. برای جلوگیری از ورود و برگشت آب به داخل محوطه‌ی زیر سازه و همچنین کناره‌های سرریز، ابتدا و انتهای مسیر با کاربرد قطعات پلکسی گلاس کاملاً بسته شد تا خطاهای احتمالی به حداقل ممکن برسند. در ضمن، سازه با کاربرد چسب آکواریم آب‌بندی شد. دراین نمونه جهت قرائت ارتفاع آب، از خط‌کش میلی‌متری با دقت نیم میلی‌متر که به دیواره نهر پایه‌دار چسبانده شده بود، استفاده گردید. داده‌برداری در هفت مقطع(مقطع اول: ۴۸ سانتی‌متر قبل از سرریز سطحی؛ مقطع دوم: روی سرریز سطحی؛ مقطع سوم: پنجه‌ی سرریز سطحی؛ مقطع چهارم: ۲۰ سانتی‌متر قبل از سرریز سطحی تنظیم کننده ؛ مقطع پنجم: روی سرریز سطحی تنظیم کننده؛ مقطع ششم: ابتدای تندآب و مقطع هفتم: انتهای تندآب) انجام گرفت. در هر آزمایش، برای اینکه بده‌ی عبوری به یکنواختی برسد، حدود ۱۵ دقیقه جریان روی سرریز عبور داده شد. سپس دمای آب با کاربرد دماسنج، در مکانی که قبل از سرریز مثلثی در انتهای نهر پایه‌دار قرار دارد، در ابتدا و انتهای هر آزمایش قرائت گردید. لازم به ذکر است که بده‌ی عبوری در هر آزمایش، ازطریق ارتفاع آب از روی سرریز مثلثی۴۵ درجه تعیین گردید. در ضمن سه عدد فشارسنج در پایین دست سرریز سطحی، جهت تعیین فشار نصب گردید. در صفحه‌ی آخر چند تصویر از عملیات انجام شده آمده است.

بحث و نتایج

با داده برداری در ۱۴ مرحله‌ی آزمایش با بده‌های متفاوت فراسنج‌های بده، سرعت، شعاع آبی، گرانروی آب، بارآبی، حداقل کار مایه مخصوص، افت کارمایه، عمق بحرانی، عدد رینولدز و عددفرود برای ۷ مقطع مذکور محاسبه گردیدند. بده براساس منحنی دبی- مقیاس سرریز ۴۵ درجه، گرانروی آب با توجه به قرائت دمای آب با کاربرد دماسنج از روی جدول خصوصیات فیزیکی آب و مابقی فراسنج‌ها براساس روابط زیر محاسبه گردیدند:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{b \times y} \quad (۱)$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b \times y}{b + 2y} \quad (۲)$$

$$H = y + \frac{V^2}{2g} + z \quad (۳)$$

$$Y_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (۴)$$

$$E_{min} = \frac{3}{2} Y_c \quad (۵)$$

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \times y}} \quad (۶)$$

A: سطح مقطع برحسب مترمربع

V : سرعت جریان برحسب متر برثانیه

Q : بده ی جریان برحسب مترمکعب برثانیه

Y : ارتفاع آب برحسب متر

b : عرض هر مقطع برحسب متر

R : شعاع آبی برحسب متر

H : بارآبی برحسب متر

Z : ارتفاع هرمقطع برحسب متر

Y_c : عمق بحرانی برحسب متر

E_{min} : کمترین کارمایه مخصوص

F_r : عدد فرود

ν :گرانروی آب

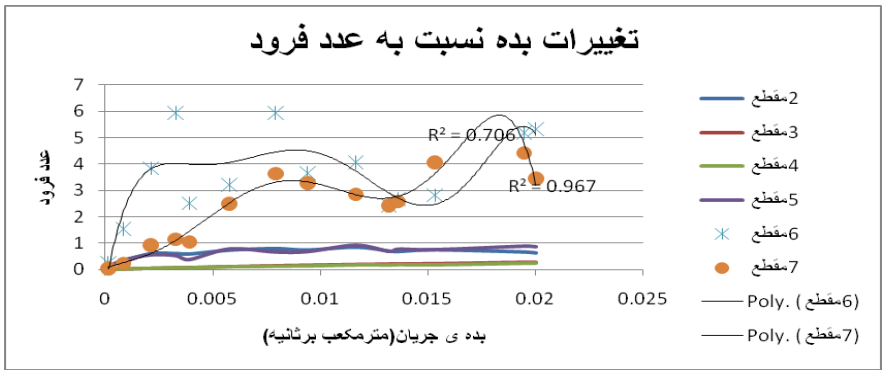
q : بده در واحد عرض برحسب مترمکعب برثانیه بر متر (مترمربع برثانیه)

تجزیه و تحلیل نمودار تغییرات بده نسبت به عدد فرود در تمامی مقاطع

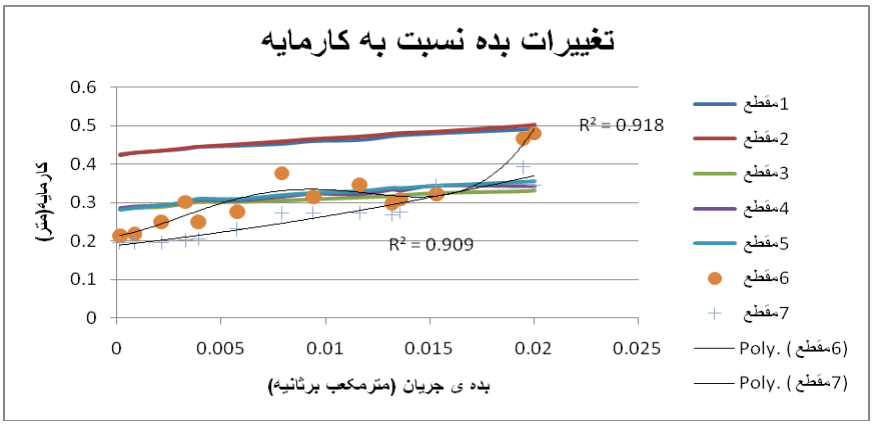
درمقاطع ۴،۳،۲و۵ و با توجه به اعداد فرود محاسبه شده، جریان زیر بحرانی می‌باشد. در مقاطع ۶ و ۷ ، به دلیل افزایش سرعت جریان بر روی تندآب، جریان فوق بحرانی است که به دلیل افزایش سرعت، در مقطع ۶ بیشترین مقدارعدد فرود محاسبه شده را دارد. به دلیل استغراق ایجاد شده و کاهش سرعت جریان، مقاطع ۳ و ۴ دارای کمترین مقدار عدد فرود می‌باشند. روند تغییرات در مقاطع۲ ، ۳ ، ۴ و ۵ ثابت بوده که با افزایش بده، عدد فرود تغییرات محسوسی را نشان نمی‌دهد. دلیل نامنظمی روند تغییرات عدد فرود در مقاطع ۶ و ۷ به علت استغراق ایجاد شده در پایین دست سازه و اثر برگشتی آن بر روی مقطع تندآب می‌باشد[شکل۱].

تجزیه وتحلیل نمودار تغییرات بده نسبت به کارمایه در تمامی مقاطع

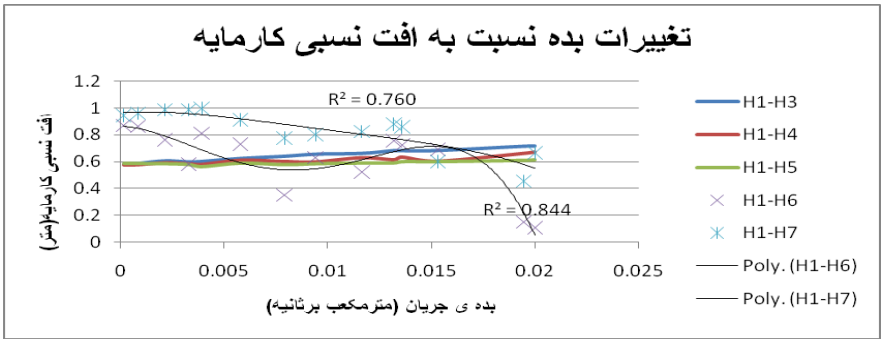
در تمامی مقاطع با افزایش بده، کارمایه نیز افزایش می‌یابد. مقطع ۱ و ۲ دارای بیشترین مقدار کارمایه، حدود ۰/۵ متر می‌باشند؛ مقطع ۷ دارای کمترین مقدار کارمایه و حدود ۰/۲ متر است[شکل ۲].



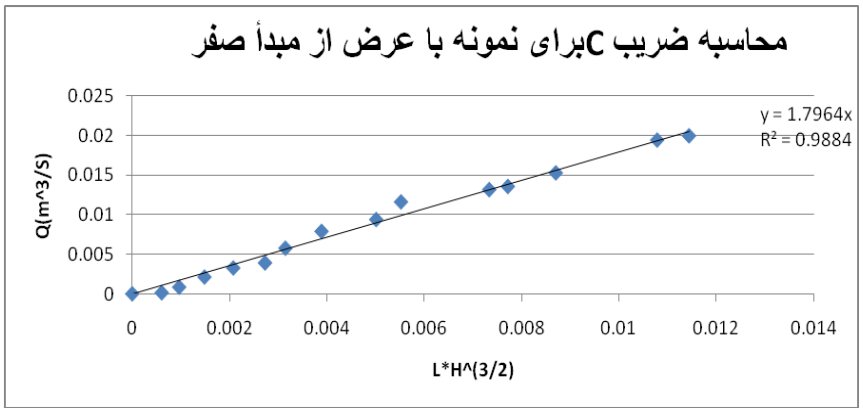
شکل ۱- منحنی تغییرات بده نسبت به فرود



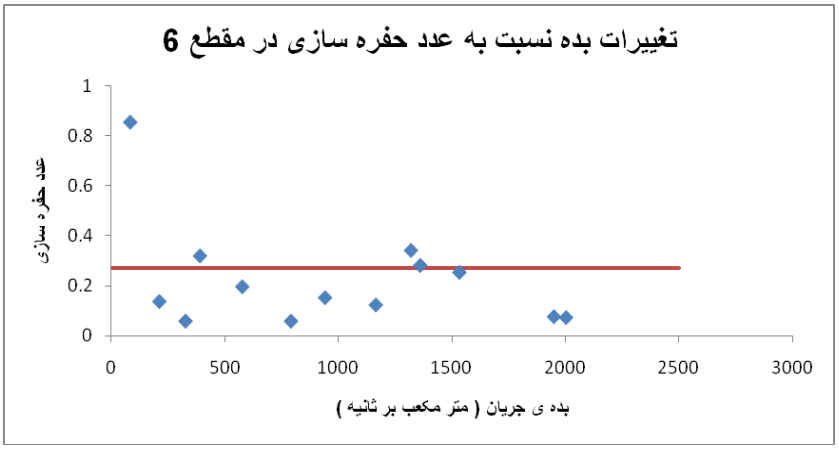
شکل ۲- تغییرات بده نسبت به کارمایه



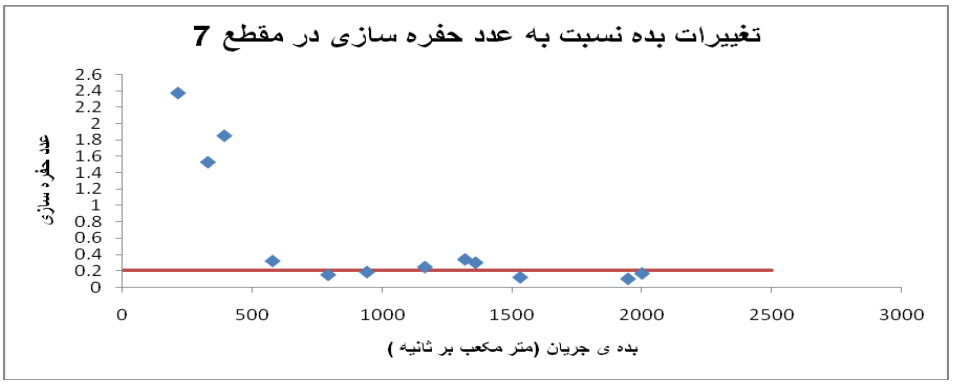
شکل ۳- تغییرات بده نسبت به افت نسبی کارمایه



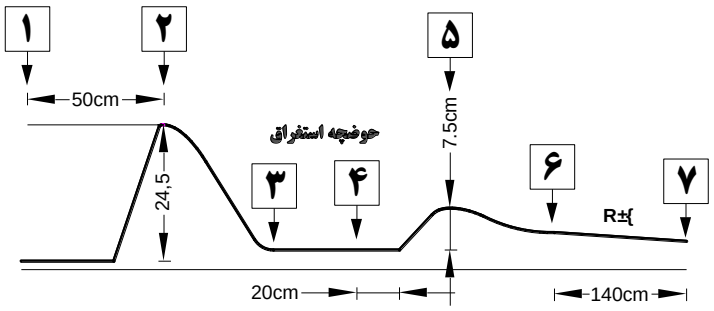
شکل ۴ – منحنی بده – مقیاس نمونه سرریز سطحی سد سیوند



شکل ۵ – تغییرات بده نسبت به عدد حفره‌سازی در مقطع ۶



شکل ۶ – تغییرات بده نسبت به عدد حفره‌سازی در مقطع ۷



شکل۷ – طرح واره ای محل‌های قرائت داده‌ها در نمونه

تجزیه و تحلیل نمودار تغییرات بده نسبت به افت نسبی کارمایه در تمامی مقاطع

در تمامی مقاطع، غیر از مقطع ۶ و۷ ، با افزایش بده، روند تغییرات افت نسبی کارمایه، تقریباً ثابت بوده و تغییرات محسوسی نداشته است، کمترین مقدار افت در حالات (H1-H5)و (H1-H4) می‌باشند که تقریباً به‌صورت خط افقی است؛ بیشترین مقدار افت حالت(H1-H7) می‌باشد که نشان‌دهنده‌ی عملکرد خیلی خوب سازه است. دلیل نامنظمی روند تغییرات عدد فرود در مقاطع ۶ و ۷ به علت استغراق ایجاد شده در پایین دست سازه و اثر برگشتی آن بر روی مقطع تندآب می‌باشد[شکل۳].

تجزیه و تحلیل منحنی مشخصه‌ی بده– مقیاس (تعیین ضریب جریان)

از آن جایی که نیمرخ سرریز های لبه آبریز با استفاده از منحنی سطح زیرین آب جاری شده از روی سرریز لبه تیز مستطیلی به‌دست می‌آید، می‌توان برای تعیین بده‌ی آن، از همان معادله بده‌ی سرریزهای لبه تیز مستطیلی استفاده کرد.

$$Q = \frac{2}{3} c_d \sqrt{2g}.L.H_d^{3/2} = CLH_d^{3/2} \qquad (۸)$$

با توجه به معادله‌های فوق می‌توان ضریب C و همچنین ضریب c_d را از راه‌های زیر به‌دست آورد.

در این حالت به علت بلندی سرریز $H_d/W=0$ بوده و لذا:

$$c_d = 0.611 + 0.08\frac{H_d}{w} = 0.611 \qquad (۹)$$

$$c = \frac{2}{3} \times 0.611 \times \sqrt{19.62} = 1.8$$

در عمل، مقدار C از حدود ۱/۶تا۲/۲ تغییر نموده و تابعی از H_d ،H_e و w می‌باشد(ابریشمی وحسینی،۱۳۸۴).

H_d: ارتفاع طرح(متر) H_e :ارتفاع معادل کار مایه(متر)

Q: بده ی جریان (مترمکعب بر ثانیه)

g : گرانش(متر بر مجذور ثانیه)

L: طول سرریز(متر) C: ضریب جریان

C_d:ضریب تغییرات بده w:ارتفاع سرریز(متر)

در این تحقیق، با توجه به داده های بار آبی موثر، طول موثر سرریز سطحی سد سیوند(۵۳ سانتی‌متر) درنمونه‌ی ساخته شده، مقیاس مورد نظر ۱:۱۰۰ و معادله‌ی سرریز لبه آبریز، با انتخاب معادله وایازی بین بده و $LH^{1/5}$ ضریب C برای نمونه ۱/۷۹۶ محاسبه گردید که این مقدار در محدوده‌ی انتخاب شده‌ی ۱/۶ تا۲/۲ می‌باشد[شکل ۴]. از آن‌جا که در این تحقیق مقدار $W/H_e>1/33$ می‌باشد، طبق نمودارهای USBR ضریب C برابر با ۲/۲ تعیین می‌گردد(ابریشمی وحسینی،۱۳۸۴).

تجزیه و تحلیل تغییرات بده نسبت به عدد حفره سازی در مقاطع ۶ و۷

فراسنج حفره‌سازی برای مقاطع۶ و۷ طبق رابطه‌ی زیر محاسبه گردید:

$$\sigma = \frac{p - p_v}{\rho \times \frac{v^2}{2}} \qquad (۱۰)$$

P : فشار در نقطه‌ی موردنظر(متر)

Pv : فشار بخار مایع(متر)

ρ : چگالی مایع(کیلوگرم بر مترمکعب)

V : سرعت(متر برثانیه)

همچنین فراسنج حفره‌سازی بحرانی بر پایه‌ی رابطه‌ی پیشنهادی آرنت و همکاران(۱۹۷۹) که به شرح زیر است برای مقاطع ۶ و ۷ محاسبه گردید:

$$\sigma_r = C\left(\frac{H}{\delta}\right)^a \left(\frac{V_b.\delta}{\nu}\right)^b \qquad (۱۱)$$

H : ارتفاع برآمدگی(متر)

V_b: سرعت جریان(متر برثانیه)

δ: ضخامت لایه‌ی مرزی(متر)

ν: گرانروی پویشی(مترمربع برثانیه)

a ، b وC ضرایب ثابتی هستند که از جداول مربوطه به دست می‌آیند؛ مقادیر ضرایب فوق به ترتیب برابر با ۰/۶۳۲، ۰/۴۵۱ و۰/۰۰۳۲۸ می‌باشندکه در نهایت مقدار حفره‌سازی بحرانی در مقطع ۶ برابر با۰/۲۶۶ و در مقطع ۷ برابر با ۰/۲۰۷، محاسبه گردید.

باتوجه به فراسنج معیار، اعداد حفره‌سازی بحرانی، ۰/۲۶۶ و ۰/۲۰۷ می‌باشند. در بعضی از آزمایشها، عدد حفره‌سازی از معیار تعیین شده کمتر است که در این صورت، سازه‌ی سد با تخریب روبرو است؛ از این رو، احداث مجراهای

هـوادهی در نقـاطی از مقطـع خروجـی سـرریز توصـیه می‌گردد[شکل‌های ۵ و۶].

نتیجه گیری

نمونه‌ی ساخته شده‌ی سرریز سطحی در محدوده‌ی مـورد اندازه‌گیری مناسب است. تندآب، به دلیل افزایش سـرعت، دارای بیشترین مقدار عدد فرود می‌باشد. مقاطع ۳ و ۴ نیز که بین سرریز سطحی اصلی و سطحی تنظیم‌کننـده واقـع گردیده‌اند، به علت اسـتغراق ایجـاد شـده دارای کمتـرین مقدار عدد فرود بوده و ضـریب C سـرریز سـطحی نمونـه ساخته شده برابر با ۱/۷۹۶ محاسبه گردیده است. با توجـه بـه فراسـنج معیـار عـدد حفـره‌سـازی بحرانـی در بعضـی آزمایش‌ها، سرریز سد بـا تخریـب روبـرو اسـت؛ از ایـن رو احداث مجراهـای هـوادهی در نقـاطی از مقطـع خروجـی سرریز توصیه می‌گردد.

جدول۲- محاسبات مربوط به عدد حفره‌سازی و مقایسه آن با حفره‌سازی بحرانی در مقطع ۷

آزمایش	سرعت نمونه واقعی	چگالی مایع	ارتفاع نمونه واقعی	فشار بخار مایع	عدد حفره سازی	حفره سازی بحرانی	ملاحظات
۳	۳/۲۷	۹۹۷/۵۸	۱/۳۰	۰/۲۷	۲/۳۸	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ نمی دهد
۴	۴/۳۸	۹۹۷/۴۵	۱/۵۰	۰/۲۸	۱/۵۳	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ نمی دهد
۵	۴/۳۶	۹۹۷/۷۰	۱/۸۰	۰/۲۶	۱/۸۶	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ نمی دهد
۶	۸/۹۱	۹۹۷/۷۰	۱/۳۰	۰/۲۶	۰/۳۲	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ نمی دهد
۷	۱۲/۷۱	۹۹۷/۵۱	۱/۲۵	۰/۲۸	۰/۱۵	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ می دهد
۸	۱۲/۶۰	۹۹۷/۴۵	۱/۵۰	۰/۲۸	۰/۱۹	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ می دهد
۹	۱۲/۳۰	۹۹۷/۰۱	۱/۹۰	۰/۳۱	۰/۲۵	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ نمی دهد
۱۰	۱۱/۵۲	۹۹۶/۸۳	۲/۳۰	۰/۳۳	۰/۳۴	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ نمی دهد
۱۱	۱۲/۱۴	۹۹۷/۲	۲/۲۵	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ نمی دهد
۱۲	۱۷/۰۹	۹۹۷/۰۸	۱/۸۰	۰/۳۱	۰/۱۲	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ می دهد
۱۳	۱۹/۵۸	۹۹۷/۵۸	۲	۰/۲۷	۰/۱۰	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ می دهد
۱۴	۱۶/۷۳	۹۹۷/۶۸	۲/۴۰	۰/۲۷	۰/۱۷	۰/۲۰۷	حفره سازی رخ می دهد

در جدول فوق سرعت بر حسب متر بر ثانیه، فشار بخار آب بر حسب متر، چگالی مایع بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و ارتفاع بر حسب متر می‌باشد.

شکل ۸- نمایی از سرریز سطحی و فشارسنجهای نصب شده

شکل ۹- نمایی از سرریز سطحی تنظیم کننده

شکل۱۰- نحوه‌ی قرار گرفتن سرریز سطحی و سطحی تنظیم‌کننده در نهر پایه دار و مقاطع اندازه‌گیری داده‌ها

شکل ۱۱- نمایی از سرریز سطحی و سطحی تنظیم کننده

شکل ۱۲- نمایی از نمونه فیزیکی- هیدرولیکی سرریز سطحی تنظیم کننده هنگام عبورجریان

شکل۱۳- سرریز مثلثی ۴۵ درجه و عبور جریان از روی آن

منابع

۱- ابریشمی ج، حسینی م. ۱۳۸۴. هیدرولیک کانال های باز.چاپ دوازدهم انتشارات آستان قدس رضوی.

۲- جلودار ز، ح گلمایی، م ضیاءتباراحمدی و ع رحمانی فیروزجانی.۱۳۸۷.تعیین پروفیل سطح آزادجریان آب روی سرریزهای اوجی بااستفاده ازروش اجزای محدود،سومین کنفرانس هیدرولیک ایران دانشگاه تهران.

۳- دستورانی،م. ۱۳۸۶.تاثیر رسوبات پشت سرریز اوجی بر ضریب تخلیه و شرایط جریان،پایان نامه کارشناسی ارشد.دانشگاه شیراز.

۴- سبک روح، م. ۱۳۸۶ ،تعیین الگوی جریان خروجی از باکت قسمتی از مدل سد سلمان فارسی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروز آباد.

۵- شفاعی بجستان م. ۱۳۸۴ . مبانی و کاربرد مدلهای هیدرولیکی- فیزیکی ، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۶- بی نام،۱۳۷۲ مهندسین مشاور سکو.مطالعات مرحله اول سد وشبکه آبیاری وزهکشی سیبویه، سیمای طرح سد سیبویه ،وزارت نیرو سازمان آب ومنطقه ای فارس جلد ششم ص ص۱تا۴۰

۷- نجفی ع، م یاسی ، س صباغ یزدی. ۱۳۸۷. اثر پایه های تاج سرریز در خصوصیات جریان بر روی یک سرریز بلند در شرایط با و بدون هوادهی مصنوعی، هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران دانشگاه شهید عباسپور.

8-Arndt , R.E. A., Holl, J.W., Bohn ,J.C.,Bechtel,W.T. 1979.Influence of surface irregularities on cavitaion performance, Journal of Ship Research, 23: 157-170.

9- Bradley, J. N. and A. J. Peterka. 1957.The hydraulic design of stilling basins. Proc. ASCE, 83:1401-1406.

10- Barker, C.L. and Deoringsfeld,T. H. A. 1941. Pressure momentum theory applid to the broad- crested weir ,Trans. ASCE,106:934-969.

11-Falvey, H. T.1982.Prediction cavitation in tunnell spillways. Water Power and Dam Construction, 34:13-15.

12-Pagliara-Hager-Minor,Stefano-Willih-Erwin.2006.Hydraulic of planpool scour ASCE, 132: 450-461.

13-Savege, M. and M . Johnson. 2001. Flow over ogee spillway:Physical and numerical model cast study. ASCE,127:640-649.