

بررسی آزمایشگاهی عملکرد هیدرولیکی سرریز اوجی و کانال پاییندست در شرایط قوس محوری

طاهره عشرتی¹- رامین فضل اولی^{2*} -مجتبی صانعی³-علیرضا عمادی⁴ تاریخ دریافت: 1392/08/01 تاریخ پذیرش: 1394/03/04

چکیدہ

سرریزها یکی از سازههای متداول برای تخلیه و اندازه گیری جریان میباشند. به همین جهت این نوع سازهه ای هیدرولیکی بسته به هدف از استفاده، دارای اشکال مختلفی هستند. در برخی از موارد به دلیل محدودیتهای اجرایی، سرریزهای باانحنا در پلان ساخته میشوند. در چنین شرایطی مطالعه توزیع جریان در طول سرریز و دیگر پارامترهای مربوط به آن، حائز اهمیت خواهد بود. در این پژوهش یک مدل فیزیکی از سرریز سد که از نوع اوجی آزاد با پلان قوسی است، مورد آزمایش قرار گرفت. همچنین بهمنظور بررسی اثر انحنای سرریز بر عملکرد جریان، مدل دوم سرریز در شکل نرمال و با شرایط هندسی و هیدرولیکی مشابه، مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین بهمنظور بررسی اثر انحنای سرریز بر عملکرد جریان، مدل دوم سرریز در شکل نرمال ضریب دبی سرریز تا مقدار 1/72 افزایش یافته و پس از آن استغراق سرریز رخ داده و ضریب دبی تا مقدار 1/23 کاهش می یابد. سرعت در هر دبی و کاهش فشار در طول سرریز، امکان خلازایی و خوردگی سازه افزایش و ضریب خوردگی که معرف آن شاخص خلازایی میباشد، سرعت در هر دبی و کاهش فشار در طول سرریز، امکان خلازایی و خوردگی سازه افزایش و ضریب خوردگی که معرف آن شاخص خلازایی میباشد، کاهش یافت. بررسی نتایج مربوط به کارایی سرریز نشان داد برای مدل اول نشان داد که با افزایش نسبت هد جریان به هـ طراحی میوسی، مقدار ضریب دبی و کاهش فشار در طول سرریز، امکان خلازایی و خوردگی سازه افزایش و ضریب خوردگی که معرف آن شاخص خلازایی میباشد، عوسی، مقدار ضریب دبی برای سرریز درشکل نرمال، کمتر خواهد بود. در این پژوهش میزان تأثیر افزایش ضریب دبی در سرریز با قوس محروری در مقایسه با سرریز با تاج مستقیم و در شرایط هیدرولیکی و هندسی مشابه، برابر 21 درصد محاسب شد.

واژههای کلیدی: انحنای سرریز، خلاءزایی، سرریز اوجی، ضریب دبی، همگرایی جریان

مقدمه

هنگامی که ارتفاع سطح آب دریاچه ی پشت سد به حداکثر مقدار خود برسد و در همین زمان سیل دیگری اتفاق بیافتد، بایستی وسیلهای در سد تعبیه شده باشد که بتواند این آب اضافی را از دریاچه سد خارج کند. ساختمان هیدرولیکی را که بدین منظور، یعنی دفع آب اضافی به کار می رود سرریز می نامند؛ به عبارت دیگر یکی از کاربردهای مهم سرریزها، کنترل ارتفاع و حجم آب دریاچه ی پشت سد است که در این حالت شکل و ابعاد سرریز تابعی از موقعیت جغرافیایی و هیدرولوژیکی منطقه خواهد بود. علاوه بر این در شبکههای آبیاری از سرریزها برای کنترل سطح آب و اندازه گیری شدت جریان استفاده می شود. در برخی از مواد به دلیل

محدودیتهای اجرایی و طراحی، استفاده از سرریزهای کنگرهای، سرریزهایجانبی و همچنین سرریزهای قوسی در پلان اجتنابناپذیر است. در چنین شرایطی توزیع جریان در طول سرریز می تواند انحراف قابل توجهی از فرضهایی که در طراحی در نظر گرفته شدهاست، بوجود آورد. چنین تاثیری اگر در زمان طراحی مورد بررسی آزمایشگاهی قرار نگیرد و مسائل ناشی از آن حل نشود شرایط بهره-برداری نامطلوبی ایجاد می کند که می تواند عملکرد متداول سازه را به مخاطره اندازد. از این رو نادیده گرفتن مسئله و عدم پرداخت به آن در زمان طراحی می تواند هزینههای هنگفت اصلاح شرایط جریان را در زمان طراحی می تواند هزینههای هنگفت اصلاح شرایط جریان را در

معمول ترین و در عین حال ارزان ترین سرریز که بتواند مقدار زیادی آب را از روی خود عبور دهد، سرریز آبریز یا همان سرریز اوجی است. همچنین از این نوع سرریز در سدهای انحرافی بهمنظ ور بالا آوردن سطح آب و انحراف آن به مزرعه استفاده می شود. این سرریزها براساس محاسبات هیدرولیکی مربوط به سرریزهای با تاج مدور به گونه ای طراحی می شوند که نیمرخ تاج و جلو ساختمان آن ها منطبق بر سطح زیرین آب لبریز شده از یک سرریز لبه تیز مستطیلی با همان

^{1، 2} و 4- به ترتیب دانش آموخته کارشناسیارشد، استادیار و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی ومنابع طبیعی ساری

^{(*-} نویسنده مسئول: Email: raminfazl@yahoo.com)
3- دانشیار سازههای آبی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، پژوهشکده حفاظت خاک و آب خیزداری، تهران، ایران

یارامترهای محاسبه شده از مدل عددی بر اساس دادههای بهدست آمده از یک مدل فیزیکی مورد ارزیابی قـرار گرفـت. بررسـی نتـایج مربوط به نیمرخ سرعت نشان داد که مقدار حداکثر سـرعت در وجـه میانی سرریز رخ داده و این ناحیه با کاهش ارتفاع سرریز در دبی ثابت، بهسمت بالادست و با کاهش دبی در ارتفاع ثابت سرریز بهسمت پاييندست حركت ميكند. شيخ كاظمي و صانعي (13) به مطالعه تأثير کانال نزدیک شونده در ضریب دبی سرریز اوجی با قوس محوری و دیواردهای همگرا پرداختند. آزمایش ها روی مدل فیزیکی سرریز گرمی چای میانه و در مقیاس 1:75 انجام شد. نتایج به طور کلی نشان داد با افزایش عرض کانال نزدیک شونده به میزان 52 درصد، 11 درصد از عمق جریان روی تاج کاهش و ضریب دبی 22 درصد افزایش خواهد داشت. خسروجردی (5)، سرریزهای لبهپهن را در حالت مستقیم و قوس دار مورد مطالعه قرار داد. در این پژوهش نشان داده شد که عامل قوس محوری علاوه بر پایداری سازهای در جهت بالادست، باعث افزایش ضریب دبی سرریز می شود. خسر وجردی و مهرجردی (6) طی پژوهشی میدان جریان عبوری از روی سرریز اوجی را به کمک نرمافزار فلوئنت در شرایط سهبعدی برای دو حالت محور مستقيم و محور قوسدارشبيهسازى نمودند. براساس نتايج به-دست آمده ضریب دبی و فشار استاتیکی و سرعت جریان در محدودهى مقطع اوجى مربوط به انحناى سرريز بهسمت بالادست نسبت به حالتهای انحنای محور سرریز به سمت پایین دست و امتداد مستقیم دارای مقدار بیشتری میباشد. فرودی و همکاران (3) یک مطالعه روی مدل فیزیکی سرریز سد گرمی چای میانه که از نوع اوجی آزاد با دیوارههای متقارب میباشد، در مقیاس 1:50 انجام دادند. آزمایشها بهازای 8 دبی شامل مقادیر 25 تا 150 درصد دبی طراحی انجام شد. نتایج بهطور کلی نشان داد با افزایش دبی، نیمرخ فشار در طول تاج در حال کاهش و در طول شوت افزایش دارد. همچنین عملکرد سرریز در دبی کوچکتر از 1/13 برابر دبی طراحی مناسب بوده و برای دبیهای بزرگتر استغراق و کاهش کارایی آن اتفاق میافتد.

مقایسه پژوهشهای انجام شده نشان میدهد بهطور کلی بررسی عملکرد هیدرولیکی سرریز اوجی در شکل قوس دار و بهطور خاص سرریز با دیوارههای جانبی همگرا، کمتر صورت گرفته است. همچنین در مطالعات انجام شده تمرکز کار بیشتر روی نتایج مدل عددی بوده و مقایسه نتایج آزمایشگاهی موجود نیست. بنابراین هدف از تحقیق حاضر مطالعه اثر انحنا و همگرایی جریان بر عملکرد هیدرولیکی سرریز در شرایط قوس محوری میباشد.

مواد و روش ها

مدل مورد مطالعـه، مـدل فیزیکـی سـرریز سـد گرمـیچـای در شهرستان میانه می باشد که در مقیاس 1:75 طراحـی و سـاخته و در

مشخصات مورد نیاز در بالادست سرریز اصلی باشد (11). رفتار جریانبر روی سرریزها بهطورگستردهای در اوایل 1950 توسط سازمان مهندسین ارتش آمریکا (USACE¹) و مطالعه تجربی گستردهای در طراحی هیدرولیک سرریزها در سال 1977 توسط سازمان عمران و أبادانی آمریکا (USBR²) انجام شد (15 و 16). برادلی (1)، چهار نوع مشخص برای جریان روی سرریز با نیمرخ اوجي را تعريف نمود. جريان نوع 1، يک جريان سريع فـوق بحرانـي روی سرریز؛ نوع 2، یک پرش هیدرولیکی ثابت روی سرریز؛ نوع 3، یک پرش مستغرق و نوع 4 استغراق سرریز را توصیف می کند. سویج و جانسون (12) یک مطالعه برای مقایسه پارامترهای جریان در یک سرریز اوجی استاندارد بدون در نظر گرفتن پایاب، با استفاده از مـدل فیزیکی، مدل ریاضی و سوابق یژوهشی موجود ((USACE (9)) 1990, USBR 1977/1987, Maynord 1985 انجام دادند. در نهایت یک هماهنگی قابل قبول بین مدل های فیزیکی و عددی مشاهده شد. جانسون و سویج (4) به مقایسه عددی و فیزیکی جریانروی سرریزاوجی با در نظر گرفتن پایاب پرداختند و اطلاعات به-دست آمده از دو مدل فیزیکی را با نتایج حاصل از بررسی عددی دو سرریزاوجی مقایسه کردند. در این پژوهش نیمرخ سطح آب و ضرایب دبی برای مدل آزمایشگاهی با دقت 1/5 تا 2/9 درصد، وابسته به هد آب موجود روی سرریز، پیش بینی شد. تولیس و نیلسون (14) عملکرد سرریز اوجی مستغرق و روابط دبیاشل آن را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق چهار رابطه برای جریان مستغرق و یک رابط و برای جریان آزاد با استفاده از دادههای آزمایشگاهی و بهمنظور پیشبینی تراز آب در بالادست در شرایط استغراق، مورد ارزیابی قرار گرفت. از نتایج این تحقیق می توان به این مطلب اشاره کرد که برای درجه استغراقهای کمتراز 8/۵، دادههای دبی اشل در حالت مستغرق با استفاده از رابطهی دبی اشل در حالت آزاد به بهترین حالت پیش بینی می شود. کومار و همکاران (7) به مطالعه ویژگیهای دبی سرریز لبه-تیز در شرایط قوس محوری به سمت بالادست پرداختند. در این پژوهش یک معادله کلی برای این نوع سرریز وابسته به زاویه رأس و نسبت هد موجود به ارتفاع سرریز ارائه شد. نتایج به طور کلی نشان داد که راندمان سرریز با افزایش نسبت هد موجود به ارتفاع ساریز، به دلیل تداخل امواج عرضی ناشی از همگرایی جریان در مقادیر بزرگتر دبی، کاهش می یابد. همچنین برای سرریز با زاویه رأس 90 درجه، یک افزایش 40 درصدی در دبی جریان روی سرریز، در مقایسه با شکل نرمال سرریز اتفاق میافتد. مورالس و همکاران (10) به برررسي عملكرد سرريز اوجي يك سد انحرافي و نيمرخ سرعت و جريان روی آن با استفاده از مدل سهبعدی CFD پرداختند.

¹⁻U.S. Army Corp of Engineers

²⁻ U.S. Bureau of Reclamation

پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی مورد آزمایش قرار گرفت. مدل سرریز از نوع اوجی آزاد با پلان قوسی با طول مؤثر 56 سانتیمتر و ارتفاع 10/4 سانتیمتـر اسـت کـه در انتهـای مسـیر اوجـی، جریـان وارد کانـالی بــه طـول 93 سـانتیمتـر، ارتفـاع

11/3سانتیمترو عرض 12 سانتیمتر با شیب 6 درصد می شود. ابتدای کانال به طول 6/5 سانتیمتربه صورت افقی می باشد. به منظور جلوگیری از اثر پایاب در عملکرد سرریز، جریان پس از عبور از کانال وارد فلومی به طول 4 متر، عرض و ارتفاع 0/6 متر می شود.



صاف، ج. مقطع طولی مدل های مورد مطالعه

Figure 1- Test models- A. Plan of Converge ogee spillway and downstream canal, B. Plan of Converge ogee spillway and downstream canal in straight shape, C. Longitudinal sections of the studied models

از آنجا که از اهداف پژوهش، بررسی اثر انحنای سرریز اوجــی در عملکرد جریان میباشد، یک مدل آزمایشگاهی از سرریز در شکل نرمال و شرایط هندسی و هیدرولیکی مشابه با مدل فیزیکی، مورد مقایسه قرار گرفت. مدل اول سرریز (سرریز قوس دار)، با استفاده از مصالح ضدآب (پلیمری با نام تجاری تفلون) و مدل دوم (سرریز نرمال)، از جنس پلاستيک فشرده (پي.وي.سي) ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت. طراحی سرریزها براساس استاندارد فنی USBR (16)، برای عمق طراحی معادل 4 سانتیمتر در مدل و وجه قائم در بالادست انجام شده است. در شکل 1، الف و ب پلان سرریزها و در ج، مقطع طولی سرریزها نشان داده شد. همچنین تصویری از هر مدل، در ذیل پلان سرریزهای مورد آزمایش آورده شد.

همان طور که در شکل 1 مشاهده می شود بدنه سرریز دارای قوس 120 درجه در محور عرضی خود می باشد که برای همگرایی جریان روی آن از دیوارههای با زاویه 60 درجه در جناحین استفاده شد. لازم به ذکر است در مدل دوم با داشتن طول تاج سرریز اصلی و زاویه همگرایی برابر، شرایط هندسی مشابه بهمنظور مقایسه عملکرد جريان ايجاد شد.

آزمایشها در مخزنی به طول 1/2 متر، عرض 0/7 متر و ارتفاع 0/50 متر از جنس دیوارههای شفاف (پلکسی گلاس) انجام شد. به-دلیل اینکه جریان در ورودی مخزن دارای یک سطح ناآرام میباشد، چندین آرام کننده در ابتدای مخزن سرریز برای آرام کردن جریان تعبيه شد. برای اندازهگیری دبی جریان از یک سرریز مثلثی لبه تیز بـا زاویه رأس 90 درجه در قسمت خروجی کانال استفاده شد که بـرای آرام کردن جریان ریزشی از سرریز در فلوم پاییندست نیز از یک سبد

فلزی مشبک انباشته از مصالح درشتدانه استفاده شد. در شکل 2 نمایی از مدل های مورد آزمایش نشان داده شد.

برای بررسی تغییرات فشار و کنترل وقوع خلازایی، نیاز به اطلاعاتی نظیر ارتفاع جریان، سرعت متوسط و فشار وارده بر کف در قسمتهای مختلف سازه میباشد. برای این منظور تعداد ده مقطع در طول مدل اول، برای اندازه گیری پارامترهای مذکور در نظر گرفته شد. برای اندازهگیری ارتفاع جریان، قرائت عمق سنج در شش قطع روی بدنه سرريز به زواياي 7/5، 37/5، 52/5، 67/5، 97/5 و 112/5 درجه و برای ده نقطه در هر قطاع، با مختصات مشخص، انجام شد. بـرای اندازهگیری توزیع فشار پیزومترهایی در همین نقاط تعبیـه شـده کـه فشار استاتیک را نشان میدهد. اولین قطاع در زاویه 7/5 درجه از جناحین، برای جلوگیری از تأثیر دیواره ها انتخاب شد. برای رفع خطای ناشی از نوسانات سطح آب در نواحی آشفته جریان، مقادیر میانگین در قرائت نیمرخ سطح آب و ارتفاع فشار ثبت شد. برای محاسبه ضريب دبي، ارتفاع جريان در بالادست سرريز در فاصله افقي 4 برابر هد طراحی از آن، برای جلوگیری از اثر انحنای تاج، اندازه گیری شد. برای بررسیخلازایی که یکی از عوامل مهم در ایجاد اختلال در عملکرد هیدرولیکی سرریزهاست میتوان از معیاری به نام شاخص خلأزایی - فالوی (1990) - استفاده کرد (2). بر اساس این تعريف شاخص خلاءزايي بهعنوان نسبت افت فشار لازم براي تبخير آب به پتانسیلکاهش فشار جریان از طریقانرژی جنبشی، به صورت زير بيان مىشود. (1)

$$\sigma = \frac{P - P_V}{\rho V^2 / 2} \tag{(11)}$$



شكل 2- نمايي ازمدل هايمورداًزمايش - الف. مدل قوس دار، ب. مدل در شكل نرمال Figure 2- View of the test models- A. Converge model, B. Model in normal shape

که در آن P فشار مطلق در محل آزمایش، _v فشار بخار مایع در دمای محیط، ρ جرم مخصوص آب، Vسرعت جریان و σ شاخص خلاءزایی (ضریب خوردگی) است. فالوی (2) به این نکته اساسی اشاره میکند که لزوماً حداکثر دبی، حداقل عدد خلاءزایی را منجر نمی شود و بنابراین کم ترین عدد خلاءزایی باید برای تمام شرایط محاسبه گردد (8).

اندازه گیری ها در مدل اول بهازای پنج دبی شامل مقادیر 2/1، 4/1، 2/6، 6/8 و 2/01 لیتر بر ثانیه (نسبت عمق بحرانی به عمق طراحی شامل مقادیر 2/0، 6/4، 0/28، 27/0 و 2/0) انجام شد. همچنین به منظور بررسی اثر انحنا، عملکرد جریان در دو مدل برای شش دبی شش دبی 1/3، 1/5، 5/1، 2/9، 6/6 و 1/06 لیتر بر ثانیه (نسبت عمق بحرانی به عمق طراحی شامل مقادیر 0/36، 1/50، (0/66 - 1/6)، 7/0، 200)، مورد مقایسه قرار گرفت.

نتايج و بحث

براساس مشاهدات آزمایش در مقادیر 0/28 و 0/44 از نسبت عمق بحراني به عمق طراحي (h/Hd=0/74) (yc/Hd)، يک جریان سریع فوق بحرانی به شکل پیوسته روی بدنه سرریز جریان دارد که در این شرایط بهدلیل همگرایی جریان، در پاییندست پرش دم خروسی¹ اتفاق می افتد (شکل 3). در مقادیر 0/58 و 0/66, y_c/H_d (h/H_d=1/08 و h/H_d=1/08)، یک جریان فوق بحرانی روی سرریز و یک یرش هیدرولیکی ثابت که روی بدنه سریز تشکیل می شود، مشاهده شد (شکل 4). با افزایش دبی محل وقوع پرش هیدرولیکی روی تنداب سرریز و در جهت بالادست حرکت میکند. برای y_c/H_d=0/81 (h/Hd=1/44)، جت جریان روی سرریز شکسته شده و سرریز در این حالت در یک درجه استغراق بالا قرار دارد که در این شرایط جریان در ورودی کانال به دام افتاده و به اصطلاح بهوسیله پیشانی سرریز مسدود شده و مقطع پایین دست به شکل یک روزنه عمل می کند (شکل 5). شرایط جریان بهازای دبیهای مورد آزمایش - جریان فوق -بحرانی روی سرریز و پرش هیدرولیکی روی بدنه تا استغراق کامل-را می توان براساس تعریف برادلی (1)، به چهار نوع مختلف جریان روی سرریز اوجی طبقهبندی کرد. در شکل 6 مقایسه نیمرخهای سطح آب برای این شرایط نشان داده شد.

در شکل 7 توزیع فشار روی سرریز برای این شرایط وبراساس موقعیت مقاطع اندازه گیری در امتداد محور طولی سرریز نشان داده شد. براساس اندازه گیریهای مربوط به فشار استاتیک، حداقل فشار در هر دبی تا قبل از استغراق سرریز، در مقطع انتهایی نیمرخ اوجی (ایستگاه سوم از هر قطاع)، در نسبت 5/4 از شعاع مرکزی کمان به

عمق طراحی (r/H_d) و به صورت یک مقدار میانگین از ارتفاع فشار در هر قطاع، محاسبه شد. حداقل ارتفاع فشار محاسبه شده در مقایسه با دبیهای مورد آزمایش در نسبت 20/8 از h/H_d=0/53) و برابر 0/4 سانتیمتر ارتفاع آب محاسبه شد. برای شرایط استغراق سرریز y_c/H_d=0/81) و y_c/H_d=0/81)، حداقل فشار در ایستگاه اول از هر قطاع و روی تاج سرریز (r/H_d=6/36)، مشاهده شد.

اندیس خلاءزایی (σ) با جای گذاری مقادیر فشار مطلق در محل آزمایش (P)، فشار بخار مایع در دمای محیط (v)، جـرم مخصـوص آب (ρ) و سرعت متوسط جریان (V) در رابطه 1 بهدست میآید. با در نظر گرفتن آب 10 درجه در محاسبات، مقـادیر فشـار بخـار و جـرم مخصوص آب به ترتیب برابر 1/23 کیلوپاسکال و 7/999 کیلوگرم بر مترمکعب خواهد شد (8). فشار مطلق از جمع جبری فشار اتمسـفر در محل آزمایش و فشار نسبی انـدازهگیـری شـده و سـرعت جریـان از تقسیم مقدار دبی در واحد عرض در هر مقطع بر عمق جریان در هـر ایستگاه اندازهگیری بهدست میآید. با جایگذاری مقادیرعددی مذکور در هر مقطع اندازهگیری، مقدار شاخص خلأزایی در آن مقطع محاسبه میشود. در شکل 8 تغییرات این شاخص به ازای مقادیر (y_c/H_{d} =0/72)

همان طور که در شکل 8 مشاهده می شود، برای مقادیر بزرگتر از نسبت h/Hd و با افزایش عمق جریان روی تاج سرریز، مقدار شاخص خلاًزایی روی تاج افزایش و با افزایش سرعت و کاهش فشار در هـر دبی و در امتداد طولی سرریز، مقدار آن کاهش می یابد. براساس ضوابط طراحی برای پیشگیری از خسارات خلاءزایی، مقدار بحرانی شاخص خلازایی که برای مقادیر کوچکتر از آن نیاز به اصلاح طراحی می باشد، برابر 0/25 پیشنهاد شده است. محاسبات مربوط به شاخص خلأزایی نشان داد که مقدار شاخص خلاءزایی برای دبیهای مورد آزمایش، در همه مقاطع بزرگتر از مقدار بحرانی آن می باشد. كمترين مقدار اين شاخص براى نسبت h/H_d=0/53) y_c/H_d=0/28)، در مقطع انتهایی سرریز (ایستگاه دهم و در نسبت 1/9 از r/H_d) برابر 1/45 و به صورت یک مقدار میانگین در مقطع محاسبه شد. برای مقادير 0/44 و 0/58 از نسبت y_c/H_d و 0/94 و h/H_d=0/74)، حداقل شاخص خلاءزایی در مقطع انتهایی شوت سرریز با شیب 1:1 (ایستگاه ششم در هر قطاع در نسبت 3/9 از r/Hd) و برای دبی طراحی (h/H_d=1/08 ،y_c/H_d=0/72)، در ایستگاه ینجم از هر قطاع و در نسبت 4/4 از r/H_d، مشاهده شد. همچنین مقدار حداکثر سرعت به صورت میانگین در هر مقطع نیز برای مقاطع مذکور مشاهده شد. مقادیر محاسبهای حداقل شاخص خلاءزایی، حداقل فشار و حداکثر سرعت در این مقاطع برای نسبتهای مورد آزمایش h/H_d، در جدول 1 ارائه شد:

¹⁻ Rooster Tail





شکل 3- تشکیل پرش هیدرولیکی در پای سرریز Figure 4- Formation of hydraulic jump at the end of spillway Figure 3- Formation of rooster tail in downstream of spillway





شکل 5- استغراق سرریز Figure 5- Submergence of spillway

Table 1- Results of the average minimum pressure, maximum velocity and minimum of Cavitation Index on spillwa				
	عمق جریان به هد طراحی	میانگین حداقل فشار	میانگین حداکثر سرعت	حداقل شاخص خلأزايي
	Flow depth to design head (h/H_d)	Average min Pressure (cm)	Average max. velocity (m/s)	Min of Cavitation Index
	0.53	0.37	1.30	1.45
	0.74	0.50	1.18	1.71
	0.90	0.52	1.10	2.35
	1.08	0.54	1.06	2.58

جدول 1- نتایج مربوط به میانگین حداقل فشار، حداکثر سرعت و حداقل شاخص خلأزایی روی سرریز able 1- Results of the average minimum pressure, maximum velocity and minimum of Cavitation Index on spil

برای مدل سرریز در شکل نرمال مانند مدل اول یک جریان سریع فوق بحرانی روی بدنه سرریز و یک پرش هیدرولیکی در پایین -دست و در نهایت استغراق سرریز اتفاق میافتد با این تفاوت که در مدل دوم پرش روی بدنه سرریز ثابت نبوده و یک شکل نوسانی دارد. از طرفی مقادیر ارتفاع جریان روی سرریز بهازای دبی متناظر بیشتر و استغراق سرریز و کاهش کارایی آن نیز سریعتر اتفاق میافتد. در واقع

در مدل دوم جریان سریع فوق بحرانی روی بدنه سرریز و پرش هیدرولیکی در پایین دست برای مقادیر 0/28، 0/36 و 0/44 از y/H_d اتفاق میافتد. از دیگر مواردی که در مدل اول نیز دیده شد، افزایش عمق جریان در کناره دیواره ها بود، با این تفاوت که در مدل اول افزایش عمق در سراسر دیواره با اختلاف ثابت از نیمرخ اصلی جریان داشت ولی در مدل دوم نیمرخ سطح آب نشان داد عمق جریان در

کناره دیواره در ابتدای بخش همگرا کمی افزایش یافته و با رسیدن

جریان به پاییندست به سرعت افزایش می یابد.



تا و. توزیع فشار روی سرریز بهازای مقادیر مورد آزمایش از عمق جریان روی سرریز به عمق طراحی

Figure 7- Non dimensioned value of static pressure on spillway in different Axes- A. The position of measured sections along the longitudinal axis of spillway, B. to F. Pressure distribution on spillway for tested values of flow depth over spillway into the depth of design head



شکل 8- مقادیر شاخص خلأزایی روی سرریز در محورهای مختلف- الف. تا د. تغییرات شاخص خلأزایی روی سرریز بهازای مقادیر مورد آزمایش از عمق جریان روی سرریز به عمق طراحی

Figure 8- Value of Cavitation Index on spillway in different Axes- A. to D. Changes of Cavitation Index on spillway for tested values of flow depth over spillway into the depth of design head

در واقع بهنظر می سد جریان در کناره دیواره با یک اختلاف در زاویه مسیر جریان به دیواره برخورد کرده و به مسیر اصلی بازمی گردد که در اثر برخورد جریان برگشتی به جریان عبوری از روی سرریز افزایش عمق بیشتری اتفاق می افتد، چنانچه مشاهده می شود برای دبی های بزرگتر (مقادیر 51/0، 83/0، 60/0 و 72/0 از y_o/H_d) بالازدگی جریان در کناره دیواره و در انتهای بخش همگرا با پرش هیدرولیکی ادغام می شود. برای مقادیر 07/0، 78/0، 81/0 و 83/0 از y_o/H_d می یابد در صورتی که در مدل اول استغراق سرریز در 18/0 و 83/0 از می ماهده شد.

تغییرات ضریب دبی

از آنجا که نیمرخ سرریزهای اوجی با استفاده از منحنی سطح زیرین آب جاری از روی سرریز لبهتیز مستطیلی بـهدسـت مـیآیـد، میتوان برای تعیین دبی و ضریب آن از معادله دبی سرریزهای لبهتیز مستطیلی به شکل رابطه زیر استفاده کرد.

$$Q = C_D L_e H^{1.5}$$
 (2)

که در آن Q دبی سرریز بر حسب مترمکعب بر ثانیه، C_D ضریب سرریز، L طول مؤثر سرریز بر حسب متر و H عمق جریان در بالادست سرریز بر حسب متر می باشد. همان طور که در شکل 1 مشاهده شد، طول مؤثر سرریز برابر 0/56 متر بوده که با جای گذاری مقادیر دبی و هد جریان در رابطه 1، ضریب دبی برای هر آزمایش

محاسبه خواهد شد. شكل 9 تغييرات اين ضريب را نشان مىدهد.





همان طور که در شکل 9 مشاهده می شود به طور کلی با افزایش نسبت h/H_d، افزایش ضریب دبی و پس از آن استغراق سرریز و کاهش ضریب مقدار اتفاق میافتد ولی در مدل دوم بهازای مقادیر قبلی دبی، عمق جریان بیشتری روی سرریز قرائت شده است که این عامل سبب می شود ضریب دبی به طور میانگین مقادیر کمتری نسبت به مدل اول داشته باشد و استغراق سرريز سريعتر اتفاق بيافتد. همچنین برای مدل دوم ضریب دبی در دبیهای قبل از استغراق یک افت مشخصی از مقادیر متناظر با دبی در مدل اول دارد ضمن اینکه عمق جریان بیشتر روی سرریز باعث ایجاد یک فاصله در محور افقی بین مقادیر دو گراف شده است. در واقع با توجه به اینکه در مقادیر کوچکتر از نسبت h/H_dهمگرایی جریان روی بالادست تأثیری ندارد، به نظر می رسد اثر انحنای بالادست سرریز در جهت افزایش ضریب دبی و کارایی سرریز عمل می کند، چنانچه با برداشتن انحنا و ایجاد شرایط یکسان در مدل دوم نسبت به مدل اول کاهش ضریب و استغراق در دبیهای کمتر مشاهده می شود.

نتیجه گیری کلی

در پژوهش حاضر عملکرد هیدرولیکی سرریز با نیمرخ اوجی و پلان قوسی به منظور بررسی توزیع فشار و احتمال خلأزایی و بهطور خاص نتایج مربوط به عملکرد جریان و اثر انحنای سرریز بر کارایی آن، با استفاده از دو مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. اندازه گیری ها در مدل اول برای پنج دبی و پنج مقدار از نسبت h/H_d شامل مقادیر 53/0، 47/0، 09/0، 10/8 و 1/44 و در شش قطاع روی

بدنه سرریز، انجام شد. نتایج مربوط به توزیع فشار و تغییرات شاخص خلاءزایی در مدل اول نشان داد، حداقل ارتفاع فشار در هـر دبـی در مقطع انتهایی اوجی سرریز و حداقل مقدار شاخص خلاءزایی در مقطع انتهایی پایین دست و برای h/H_d=0/53 اتفاق میافتد. همچنین برای دبیهای مورد آزمایش در این پژوهش، حداکثر سرعت و حداقل شاخص خلاءزایی برای هر دبی در مقاطع یکسان و در مقطع وقوع یرش هیدرولیکی محاسبه می شود. از طرفی مشاهده شد که با افزایش دبی، مقطع بحرانی مذکور در جهت بالادست و روی بدنه سررریز، حرکت میکند. همچنین با افزایش سرعت در هر دبی و کاهش فشار در طول سرریز، مقدار شاخص خلاءزایی کاهش و احتمال خوردگی افزایش می یابد. حداقل مقدار محاسبه شده برای اندیس خلاءزایی برابر 1/45 بوده که این مقدار بزرگتر از مقدار بحرانی آن می باشد. بهمنظور بررسی اثر انحنا، عملکرد جریان و تغییرات ضریب سرریز برای پنج دبی اولیه (نسبت عمق بحرانی به عمق طراحی شامل مقادير 0/28، 0/44، 0/58، 0/72 و 0/81) و شش دبی دیگر (نسبت مذكور شامل مقادير 0/36، 0/51، 0/66، 0/76، 0/76 و 0/83) در هر دو مدل، مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مربوط به کارایی سرریز، به-طور کلی نشان داد که با افزایش نسبت عمق بحرانی به عمق طراحی (y_c/H_d) ضریب سرریز افزایش می یابد. در واقع با افزایش نسبت h/Hd و افزایش دبی تا دبی طراحی میزان تخلیه بیشتر و کارایی سرریز در هر دو مدل بالا میرود. برای دبیهای بزرگتر، جریان توسط پیشانی سرریز مسدود شده و کاهش کارایی سرریز به دلیل استغراق و پسزدگی جریان اتفاق میافتد. نتایج بهدست آمده از مقایسه دو مدل نشان میدهد که برای سرریز در شکل نرمال و با شرایط هندسی و هیدرولیکی مشابه، استغراق سریعتر و ضریب دیے

قوس محوری بهسمت بالادست باعث افزایش ضریب دبی و کارایی سرریز میشود. میزان تأثیر افزایش ضریب دبی برای سرریز با قـوس محوری در مقایسه با سرریز با تاج مستقیم و در شرایط هیدرولیکی و هندسی مشابه در این پژوهش، برابر 21 درصد محاسبه شد. بهازای دبیهای برابر مقدار کمتری بهدست میدهد. بـه طـوری کـه افزایش ضریب در سرریز قوسی تا مقـدار 0/81 از نسـبت yc/Hd (در دبی 10/3 لیتر بر ثانیه) و در سرریز صاف تا مقدار 0/72 از yc/Hd(در دبی 9/2 لیتر بر ثانیه) اتفاق میافتد. بنابراین به نظر میرسد که عامل

منابع

- Bradley J.N. 1945. Studies of Flow Characteristics, Discharge and Pressures Relative to Submerged Dams. Hydraulic Laboratory Rep. No. 182, Denver.
- 2- Falvey H.T. 1990. Cavitation in Chutes and Spillways. USBR Engrg. Monograph, No.42, Denver, Colorado, USA, 160 p.
- 3- Froudi A. Saneie M., and Moghadam M.A. 2014. Experimental Study on Hydraulic Performance in Ogee Spillway with Arc Angle and Converge Walls. Journal of Experimental Research in Civil Engineering, 1 (2): 81-88.(in Persian with English Abstract)
- 4- Johnson M.C., and Savage B.M. 2006. Physical and Numerical Comparison of Flow over Ogee Spillway in the Presence of Tailwater. Journal of Hydraulic Engineering, 132(12): 1353-1357.
- 5- Khosrojerdi A. 1997. Study on Discharge Coefficient of Broad-Crested Weirs with Axial Arch Using Hydraulic Model. Master's Thesis of Irrigation Facilities. Islamic Azad University, Science & Research. 125 p. (In Persian)
- 6- Khosrojerdi A., and Mehrjerdi M. 2008. Hydraulic Study of Ogee Spillway with Axial Arc. The 9th National Seminar of Irrigation and Reduce Evapotranspiration. 5-7 Feb. 2008. Shahid Bahonar University, Kerman, IR. (In Persian)
- 7- Kumar S., Ahmad Z., Mansoor T., and Himanshu S.K. 2012. Discharge Characteristics of Sharp Crested Weir of Curved Plan-form. Research Journal of Engineering Sciences, Res. J. Engineering Sci, 1(4): 16-20.
- Lesleighter E.J. 1988. Cavitation in Hydraulic Structures, Prototype Correlation of Hydraulic Structures. Colorado Springs, Colorado, Pp: 74-94.
- 9- Maynord S. T. 1985. General spillway investigation. Tech. Rep. HL-85-1, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.
- 10- Morales V., Tokyay T.E., and Garcia M. 2012. Numerical Modeling of Ogee Crest Spillway and Tainter Gate Structure of a Diversion Dam on Canar River. XIX International Conference on Water Resources. 17-22 June. 2012. University of Illinois at Urbana-Champaign, Ecuador, USA.
- 11- Najmaie M. 1995. Applied hydraulics. University of Science and Technology, IR. 416 p. (In Persian)
- 12- Savage B.M., and Johnson C.M. 2001. Flow over Ogee Spillway Physical and Numerical Model Case Study. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 127(8): 640-649.
- 13- Sheikh Kazem J. and Saneie M. 2014. The Effect of Approach Channels on the Discharge Coefficient of Ogee Spillway in the Axial Arc Condition with Convergent Sidewalls. Journal of Middle East Applied Science and Technology (JMEAST), 22 (2): 119-123.
- 14- Tullis B.P. and Neilson J. 2008. Performance of Submerged Ogee-Crest Weir Head-Discharge Relationships, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, 134(4): 486-491.
- 15- United States Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (USACE-WES). 1952. Corps of Engineers Hydraulic Design Criteria, revised in subsequent years.
- 16- U.S. Bureau of Reclamation. 1987. Design of Small Dams, Water Resources Technical Rep., 3rd Ed., Pp: 339– 434.



Laboratory Study of Hydraulic Performance of Ogee Spillway and Downstream Canal with Axial Arc

T. Eshrati²- R. Fazloula²*- M. Sanei³- A. Emadi⁴

Received: 23-10-2013 Accepted: 25-05-2015

Introduction: Weirs are one of the common structures for discharge and flow measurement. Therefore, these types of hydraulic structures depending on the purposeofuse havedifferent shapes. In some cases, due to practical constraints, spillways with curvature in plan are designed. In such situations study of flow distribution over the spillway and other related parameters, will be important. In this study, a physical model of dam spillway, which is type of ogee-crested weir with curvature in plan, were tested. Also in order to investigate the effects of curvature on the performance of the flow, the second model of spillway in normal shape, with similar geometric and hydraulic conditions, were compared.

Materials and Methods: First physical model of prototype is built at the scale of 1:75 and the second model was constructed in straight form (without curvature in plan) with similar geometric conditions to the first model. Spillways have been designed according to USBR standard for design head at value of 4 cm in model and vertical upstream face. Experiments were performed in Soil Conservation and Watershed Management Research Institute at reservoir with dimensions 1.2 m length, 0.70 m width and 0.5 m height walls of Plexiglas. To measure the flow discharge, a sharp triangular weir with apex angle of 90° in the output of channel was used. Measurements in first model were conducted with five discharges and five values of h/H_d (0.53, 0.74, 0.90, 1.08 and 1.44) and for six sectors on spillway body. To evaluate the effect of curvature, flow performance and discharge coefficient changes were compared for five early discharges (ratio of critical depth to design head at value of 0.28, 0.44, 0.58, 0.72 and 0.81) and six other discharge (mentioned ratio at value of 0.36, 0.51, 0.66, 0.76 and 0.83) in both models.

Results and Discussion: The results related to the first model showed that by increasing the ratio of head to design head (h/H_d) , rate of spillway discharge coefficient increases to the value of 1.72 and decreases to 1.23, when the weir was submerged. It also observed that with increase in flow rate of each discharge and reducing the pressure along the spillway, possibility of vacuum-creation and corrosion of structure increased and the corrosion rate witch introduced by Cavitation Index decreased. The minimum value for Cavitation Index that has been calculated was 1.45 that is greater than the critical value of it. The results of the pressure distribution and changes of Cavitation Index in first model showed, the minimum height of the pressure for each discharge occurred at the end of ogee profile and the minimum value of the Cavitation Index occurred at the last section of spillway in downstream for the value of h/H_d=0.53.As well as for all test cases in this study, the maximum velocity and minimum of Cavitation Index were calculated at the same section of spillway where hydraulic jump was observed. On the other hand, it was observed that with increasing flow rate, the critical section moves upward on the spillway body. The results related to the spillway efficiency generally indicated that by increasing the ratio of critical depth to design head (y_c/H_d) discharge coefficient increases. In fact, by increasing the ratio of h/H_d and increase the discharge rate up to design discharge, the amount of evacuation and efficiency of both models goes up. For larger discharges, the flow is blocked by the spillway forehead and model efficiency will decrease due to submersion and flow rejection. Results obtained from comparison of two models indicated for the spillway in normal shape submergence of the weir occurred faster and discharge coefficient of each test achieved in lesser value per test, So that the discharge coefficient increasing in curved spillway continued until the value of 0.81 y_c/H_d (at 10.3 lit/s of discharge) and in normal shape until the value of 0.72 y_c/H_d (at 9.2 lit/s of discharge). Therefore it seems that the upward central arch factor will increase the discharge coefficient and efficiency of spillway.

^{1, 2, 4-} M.Sc Graduated, Asistant Professor and Associate Professor of Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Respectively

^{(*-} Corresponding Author Email: raminfazl@yahoo.com)

³⁻ Associate Professor of Hydraulic Structures, Agricultural Research, Education and Extention Organization (AREEO), Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

بررسی آزمایشگاهی عملکرد هیدرولیکی سرریز اوجی و کانال...

Conclusion: In the present research the hydraulic performance of ogee spillway with curved plan to investigate the pressure distribution and the vacuum-creation and in particular to compare the results related to flow performance and the effect of spillway curvature on its performance were studied using two experimental models. The impact of increasing the discharge coefficient for the weir with upward central arch compared to weir with straight crest, in terms of similar geometric and hydraulic conditions, was calculated to the value of 21 percent, in this study.

Keywords: Cavitation, Discharge Coefficient, Flow Convergence, Ogee Spillway, Spillway Curvature