

## بررسی تاثیر تغییرات زاویه همگرایی دیواره‌های هادی بر عملکرد هیدرولیکی سرریز اوجی با قوس در پلان

علی فرودی خور<sup>۱\*</sup>، مهدی اژدری مقدم<sup>۲</sup> و مجتبی صانعی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، <sup>۲</sup> دانشیار، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان و <sup>۳</sup> دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۹/۱۴

### چکیده

در این پژوهش، به بررسی طرح سرریزی با قوس در پلان و زاویه تقرب به سمت پایین دست که طول مؤثر خود را از تاج تا پنجه چند برابر کاهش می‌دهد، پرداخته شده است. آزمایش‌ها در دو مرحله صورت گرفته است، در مرحله اول مدل فیزیکی با مقیاس ۱:۵۰ از طرح نمونه واقعی برای سائیتی خاص مورد آزمایش قرار گرفت، در این مرحله آزمایش‌ها به ازای هشت دبی مختلف شامل مقادیر ۲۵ تا ۱۵۰ درصد دبی طراحی معادل نمونه واقعی در طبیعت انجام شد. سرریز عملکرد مناسبی را تا دبی  $1/13 Q_d$  (دبی طراحی می‌باشد) از خود نشان داد. به تدریج با افزوده شدن دبی، کارایی سرریز کاهش پیدا کرده، به گونه‌ای که در دبی  $1/26 Q_d$  سرریز به‌طور کامل مستغرق شد و کانال پایین دست کنترل کننده دبی عبوری شد. مشاهدات و آزمایش‌ها نشان‌دهنده این بود که یکی از عوامل مستغرق شدن سرریز تغییر زاویه شدید دیواره‌های هادی، ۱۲۰ درجه و کاهش قابل ملاحظه نسبت عرض کانال ( $L_{ch}$ ) به طول تاج ( $L$ ) معادل  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/214$  می‌باشد. در مرحله دوم، تاثیر تغییر زاویه همگرایی دیواره‌های هادی سرریز، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور مدل فیزیکی تحت سه زاویه همگرایی دیواره‌های هادی شامل صفر درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/98$ ، زاویه ۶۰ درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/32$  و زاویه ۹۰ درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/26$ ، مورد آزمایش قرار گرفت. تاثیر تغییر زوایا بر ضریب دبی تا قبل از استغراق قابل اغماض گزارش شد. در زاویه صفر درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/98$  بالاترین ضریب دبی با مقدار  $C = 1/991$  را به خود اختصاص داد و علت آن نیز عدم استغراق در دبی معادل دبی PMF در نمونه واقعی بود. در همه زوایا، فشار استاتیکی در تاج کاهش و در شوت و پنجه در حال افزایش گزارش شد، به نحوی که نسبت  $\frac{H_p}{H_d} = -0/217$  (هد فشار استاتیکی و  $H_d$  هد طراحی سرریز می‌باشد) در تاج به ازای دبی  $1/13 Q_d$  در صفر درجه قرائت شد. در زوایای ۹۰ و ۱۲۰ درجه نیز به ازای دبی‌های بالاتر و مستغرق شدن سرریز با تغییر رژیم جریان روی سرریز از فوق بحرانی به زیر بحرانی فشار افزوده شد و بالاترین فشار به ازای دبی  $1/50 Q_d$ ، مقدار  $\frac{H_p}{H_d} = 4/35$  در زاویه ۱۲۰ درجه گزارش شد. در زوایای مذکور زاویه ۶۰ درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/32$ ، با توجه به طول تاج کمتر، (۴۵ درصد کاهش طول تاج نسبت به زاویه ۱۲۰ درجه و با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/214$ ) به‌عنوان زاویه مناسب در بین این زوایا انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: مدل فیزیکی، رژیم بحرانی، زاویه تقرب، ضریب دبی، فشار استاتیکی

## مقدمه

هر مانعی که بر سر راه جریان در کانال قرار گیرد و باعث شود تا آب در پشت آن بالا آمده و بر سرعت آن در ضمن عبور افزوده شود، سرریز<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. از آنجایی که سرریزها در کارهای مهندسی کاربرد فراوان دارند، بررسی و مطالعه آن‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از راه‌های عبور آب‌های اضافی و سیلاب‌ها از سراب به پایاب سدها نیز سازه‌های به نام سرریز است. با توجه به وظیفه‌ای که بر عهده سرریز می‌باشد، این سازه باید قوی، مطمئن و با کارایی بالا باشد تا هر لحظه بتواند برای بهره‌برداری آمادگی داشته باشد (Beirami, ۱۹۹۷).

سرریز اوجی به دلیل راندمان بالای تخلیه از جمله پرکاربردترین سرریزها در طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد. علی‌رغم پیشرفت زیادی که در طرح و محاسبه سدها و تاسیسات مربوطه با استفاده از روش‌های عددی و تحلیلی شده است، با توجه به پیچیدگی جریان و پارامترهای موثر بر آن کسب نتایج دقیق از طریق مدل‌سازی عددی امکان‌پذیر نبوده و اطمینان قطعی از عملکرد مناسب را به طراح و سازنده نخواهد داد. از طرفی، تحلیل‌های ریاضی به همراه تجربه‌های موجود پیوسته قادر به ارائه اطلاعات کافی برای تضمین عملکرد صحیح یک سازه هیدرولیکی پر خرج نخواهد بود. لذا به دلیل هزینه زیاد ساخت سد و تاسیسات مربوطه و نیز خسارت و زیان جانی و مالی ناشی از عملکرد ناصحیح سرریز، انجام آزمایش مدل هیدرولیکی برای سرریزهای بسیاری از سدها با شرایط خاص هندسی عملاً لازم است. Bazin (۱۸۸۸) مطالعات جامعی را بر روی سرریز اوجی صورت داد. Bradley (۱۹۴۵) چهار نوع مشخص برای جریان روی سد با پروفیل اوجی را تعریف می‌کند، جریان نوع یک، جریانی سریع با رژیم فوق بحرانی، جریان نوع دو، دارای پرش هیدرولیکی ثابت، جریان نوع سه، شامل پرشی مستغرق و جریان نوع چهار، استغراق سرریز را توصیف می‌نماید. Cassidy (۱۹۶۵) با تطابق خوبی که بین تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی برای یک شکل خاص از سرریز به دست آورد، تأثیر کم لزجت در

تعیین سطح آزاد را به خوبی نشان داد. Maynord (۱۹۸۵) به دنبال روش ساده‌ای برای طراحی منحنی تاج سرریز اوجی پرداخت، او ضریب دبی، فشار استاتیکی روی تاج و همچنین، پروفیل سطحی آب را در دو حالت با و بدون پایه اندازه‌گیری کرد و نتایج آن‌ها را به صورت منحنی و جدول ارائه داد. وی به این نتیجه رسید که تاج‌های سرریز در ارتفاع‌های بسیار پایین خصوصیات تخلیه یکسانی با سرریزهای تاج پهن دارند. Savage (۲۰۰۱) جریان بر روی سرریز اوجی را به صورت فیزیکی و عددی مدل‌سازی نمود و همچنین، نتایج خود را با داده‌های موجود در USBR و USACE مقایسه کرد. ایشان برای مقایسه از منحنی‌های دبی بی بعد شده استفاده نمودند و به تطابق خوبی در نتایج عددی و فیزیکی رسیدند.

Ho و همکاران (۲۰۰۳) به تحلیل جریان عبوری از روی سرریز با استفاده از مدل عددی به دو صورت دو بعدی و سه بعدی پرداختند و به تطابق خوبی از مقایسه روش عددی و تحلیلی سرریز اوجی شکل استاندارد رسیدند. Chatila و Tabbara (۲۰۰۴) یک مدل محاسباتی از جریان روی سرریز اوجی را بررسی کردند. در این تحقیق به بررسی پروفیل‌های منظم جریان روی سرریز اوجی، با اندازه‌گیری سطح آزاد سیال برای چندین تراز جریان به عنوان سطوح مبنا در آزمایشگاه پرداخته شد و در نهایت نشان داده شد که سطوح آزاد جریان پیش‌بینی شده به وسیله این مدل هماهنگی خوبی با ویژگی‌های جریان روی سرریزها و همچنین، با پروفیل‌های اندازه‌گیری شده جریان در تمام بدنه سرریز دارد. Kim و Park (۲۰۰۵) تحلیلی را بر روی سرریز اوجی تحت تأثیر اثر مقیاس و زبری سطحی با استفاده از مدل محاسباتی عددی (CFD) انجام دادند. نتایج نشان داد که ماکزیمم سرعت در هر نقطه به ازای اثر زبری سطحی و همچنین، اثر مقیاس نسبت به نمونه اصلی به آرامی کاهش و سپس افزایش می‌یابد. همچنین، نتایج بیانگر این بود که مدل‌سازی اثر زبری و اثر مقیاس نتایج مشابهی را به دنبال دارد.

Dargahi (۲۰۰۶) به مطالعه آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی جریان آزاد بر روی سرریزهای اوجی پرداخت، در این پژوهش از فلومی به طول چهار، عرض ۰/۴۰۳ و عمق ۰/۶ متر استفاده شد. وی از

<sup>1</sup> Weir

مقایسه شد و تطابق خوبی از این دو روش حاصل شد. مسأله‌ای که در این طرح به آن پرداخته شده است، بررسی عملکرد طرح سرریزی با قوس در پلان و زاویه تقرب به سمت پایین دست، که طول مؤثر خود را از تاج تا پنجه چند برابر کاهش می‌دهد، می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

بررسی آزمایشگاهی مورد نظر برای این پژوهش بر روی مدل فیزیکی در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری صورت گرفت. مدل سرریز با استفاده از جنس پلی اتیلن که ضد آب می‌باشد، ساخته شد. برای ساخت دیواره‌ها و کانال از پلکسی گلاس استفاده شد. آزمایش‌ها در دو مرحله انجام گرفت، در مرحله اول مدل فیزیکی با مقیاس ۱:۵۰ از طرح پیشنهادی نمونه واقعی مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور تشابه شرایط هیدرولیکی در مدل و نمونه واقعی از تشابه فرودی استفاده شد، مشروط بر آن که عدد رینولدز از عدد  $(10^4)$  بزرگ‌تر بوده تا اثر لزجت قابل صرف نظر باشد (USBR، ۱۹۸۰). در جدول ۱، خلاصه پارامترهای طراحی برای مدل و نمونه واقعی ارائه شده است.

آزمایش‌ها به ازای هشت دبی شامل مقادیر ۲۵، ۳۸، ۵۰، ۶۲، ۷۵، ۸۵، ۱۰۰، ۱۱۳، ۱۲۶ و ۱۵۰ درصد دبی طراحی انجام شد. برای اندازه‌گیری دبی جریان از یک سرریز لبه تیز مثلثی با زاویه رأس ۹۰ درجه در قسمت انتهایی کانال خروجی استفاده شد. قرائت پروفیل سطح آب به وسیله یک ارتفاع سنج در سراسر بدنه سرریز و در پنج قطاع که خود شامل ۱۲ ایستگاه با مختصات معلوم بود، انجام شد. یک قطاع بر روی خط مرکزی سرریز در پلان و چهار قطاع دیگر به صورت متقارن نسبت به قطاع مرکزی در طرفین آن قرار داشتند. فاصله اولین قطاع از دیواره به صورتی بود که تحت تأثیر دیواره قرار نگیرد. برای برداشت فشار استاتیکی نیز از ۵۰ پیزومتر بر روی قطاع‌های مذکور که در ۱۰ ایستگاه تعبیه شدند، استفاده شد. محاسبات سرعت نیز با استفاده از رابطه پیوستگی با معلوم بودن دبی و عرض هر مقطع و برداشت عمق جریان در مقطع مورد نظر انجام شد.

ماکت سرریز اوجی استاندارد به ارتفاع ۰/۲ متر در داخل فلوم بهره برد و آزمایش‌های خود را در سه ارتفاع  $0.5H_d$ ،  $H_d$  و  $1.5H_d$ ، ارتفاع طراحی سرریز، انجام داد. در تمام پروفیل‌های سرعت نکته جالبی مشاهده شد، در لایه مرزی سرعت تابعی لگاریتمی از عمق جریان بود. Savage و Johnson (۲۰۰۶) به مقایسه فیزیکی و عددی جریان عبوری از روی سرریزهای اوجی با وجود پایاب پرداختند. مدل‌های فیزیکی در فلومی با طول ۱۲، عرض ۱/۸۳ و ارتفاع ۱/۲۲ متر بررسی شدند و از دو مدل فیزیکی از سرریز اوجی که به وسیله پلکسی ساخته شده بود، استفاده شد. مدل A، در قسمت انتهایی دارای فلیپ باکت (قوس جامی شکل) و مدل B در قسمت انتهایی به صورت افقی بود. برای هر سرریز ارتفاع‌های مختلفی در نظر گرفته شد و آزمایش‌ها در این ارتفاع‌ها انجام شد. برای مدل‌سازی عددی نیز از نرم‌افزار FLOW 3D استفاده شد. برای مقایسه، مدل‌های فیزیکی و عددی از دبی جریان در طول سرریز و همچنین، فشار موجود در تاج استفاده شد. تطابق خوبی از مقایسه مدل فیزیکی و عددی مشاهده شد.

Hunt و همکاران (۲۰۰۸) مطالعه‌ای بر روی مدل فیزیکی سرریز پلکانی تحت تأثیر تغییر زاویه همگرایی دیواره‌های هادی، برای محاسبه کمینه ارتفاع مورد نیاز دیواره‌های هادی انجام دادند که بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده به ازای دبی واحد، عمق جریان در امتداد دیواره‌های هادی در زاویه ۵۲ درجه، در ایستگاهی خاص ۲/۵ برابر عمق جریان در امتداد دیواره هادی در زاویه همگرایی ۱۵ درجه است. همچنین، رفتار جریان در دو جناح سرریز یکسان می‌باشد. Swamee و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی خصوصیات دبی بر روی سرریزهای مورب پرداختند. آن‌ها رابطه جدیدی برای محاسبه ضریب دبی در این نوع سرریزها ارائه دادند که تطابق خوبی با مقادیر آزمایشگاهی داشت. Morales و همکاران (۲۰۱۲) مدل‌سازی عددی و فیزیکی سرریز اوجی با دریچه قطاعی سد انحرافی رودخانه کانر در اکوادور را انجام دادند. پروفیل سطح آب و سرعت نسبی در دو مدل با یکدیگر

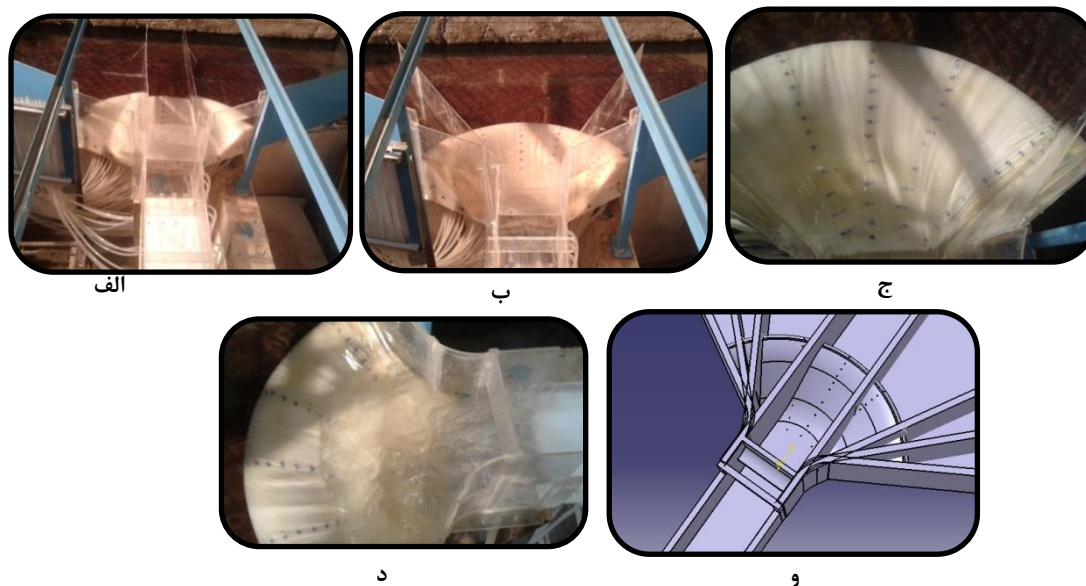
جدول ۱- پارامترهای طراحی برای مدل ونمونه واقعی

مشخصات طراحی سرریز	نمونه واقعی	مدل $\Theta^* = 120$
مقطع	اوجی	اوجی
ظرفیت تخلیه	$398 (m^3 s^{-1})$	$22/514 (L s^{-1})$
ارتفاع	$7/8 (m)$	$15/6 (cm)$
طول تاج	$42/83 (m)$	$83/776 (cm)$
هد طراحی	$3 (m)$	$6 (cm)$
بیشینه دبی سیل	$717 (m^3 s^{-1})$	$40/56 (L s^{-1})$
ماکزیمم هد	$5 (m)$	$10 (cm)$
عرض کانال پایین دست	$9 (m)$	$18 (cm)$
شیب کانال پایین دست	$6 (\%)$	$6 (\%)$

\*  $\Theta$  زاویه همگرایی دیواره‌های هادی سرریز است.

هر یک از زوایا با توجه به عرض ثابت کانال پایین دست به دلیل محدودیت‌های اجرایی در طرح نمونه واقعی در طبیعت، موجب تغییر طول تاج سرریز مدل می‌شد. در شکل ۱، تصاویری از مدل تحت هر چهار زاویه نشان داده شده است.

با توجه به عدم رسیدن به نتایج مطلوب، فاز دوم پیریزی شد، در فاز دوم مدل فیزیکی ساخته شده تحت سه زاویه همگرایی دیواره‌های هادی نسبت به یکدیگر شامل صفر درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/98$ ، زاویه  $60$  درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/32$  و زاویه  $90$  درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/26$ ، مورد آزمایش قرار گرفت. ایجاد



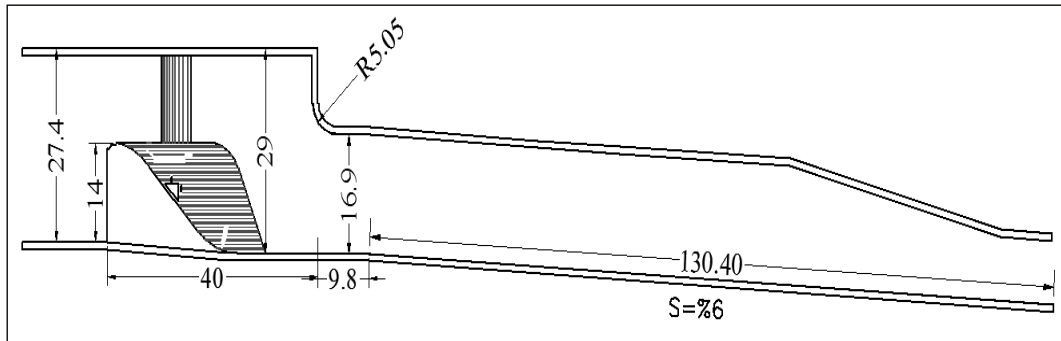
شکل ۱- پلان مدل در هر چهار زاویه (الف) زاویه صفر درجه، (ب) زاویه  $60$  درجه، (ج) زاویه  $90$  درجه، (د) زاویه  $120$  درجه، (و) شمای کلیه زوایا در پلان

همچنین، در شکل ۲، نمای هادی مدل موجود می‌باشد. بنابراین برای ایجاد شرایط یکسان دبی‌های عبوری در حالت‌های مختلف از دبی بر واحد عرض

یکسان استفاده شد. جدول ۲، دبی‌های عبوری از سرریز را در زوایای مختلف در مدل و نمونه واقعی نشان می‌دهد. روش اندازه‌گیری و برداشت داده‌ها

زاویه صفر و ۶۰ درجه در دبی بالاتری از دبی‌های مذکور که دارای ارتفاعی بیش از ارتفاع سیلاب PMF بود، آزمایش انجام شد.

مانند فاز اول آزمایش‌ها می‌باشد، با این تفاوت که در زاویه ۶۰ و ۹۰ از سه قطاع و زاویه صفر درجه از یک قطاع، برای برداشت داده‌ها استفاده شد. همچنین، در



شکل ۲- مقطع عرضی مدل

جدول ۲- مشخصات دبی‌های عبوری در نمونه واقعی و مدل فیزیکی در زوایای مختلف دیواره هادی جریان

دبی در مدل ( $LS^{-1}$ )					
دبی در نمونه واقعی ( $m^3s^{-1}$ )	۰ درجه $\frac{L}{L_{ch}}=0.198$	۶۰ درجه $\frac{L}{L_{ch}}=0.132$	۹۰ درجه $\frac{L}{L_{ch}}=0.126$	۱۲۰ درجه $\frac{L}{L_{ch}}=0.121$	دبی بر واحد عرض (q) $(\frac{L}{s.m})$
۱۰۰	۱/۲۴	۳/۹۰	۴/۸۰	۵/۶۵	۶/۷۴
۲۵۰	۳/۰۹	۹/۷۶	۱۱/۹۹	۱۴/۱۴	۱۶/۸۸
۴۰۰	۴/۵۹	۱۵/۶۱	۱۹/۱۸	۲۲/۶۲	۲۷/۰۲
۴۵۰	۵/۵۶	۱۷/۵۶	۲۱/۵۸	۲۵/۴۶	۳۰/۳۹
۶۰۰	۷/۴۲	۲۳/۴۱	۲۸/۷۷	۳۳/۹۴	۴۰/۵۲
۷۱۷	۸/۸۶	۲۷/۹۸	۳۴/۳۹	۴۰/۵۶	۴۸/۴۲
---	۱۴/۱۴	۳۳/۹۴	---	---	---

بیشتری داشته و در کناره‌ها کوتاه‌تر است. در اطراف دم خروسی جریان‌های ثانویه مشاهده شد که این جریان می‌تواند ناشی از سرعت کم خطوط جریان در نزدیکی دیواره‌ها باشد که در هنگام ورود به کانال پایین دست در اثر برخورد با جریان با سرعت بالاتر به سمت پنجه پس زده می‌شوند و نوعی حرکت گردابه‌ای را تجربه می‌نمایند.

تا ارتفاع آب روی سرریز  $H_d=0.75H$ ، پرش در ناحیه پنجه سرریز مشاهده شد، اما این پرش ثابت نبود و در حال گذار بین پرش هیدرولیکی و دم خروسی در حال تغییر بود، اما در دبی‌های بزرگ‌تر از این مقدار، جریانی فوق بحرانی بر روی سرریز و یک پرش

## نتایج و بحث

در مرحله اول آزمایش‌ها، در زاویه همگرایی ۱۲۰ درجه دیواره‌های هادی نسبت به یکدیگر و نسبت  $\frac{L_{ch}}{L}=0.114$ ، بر اساس مشاهدات از دبی  $0.25Q_d$  تا دبی  $0.62Q_d$  جریان بر روی سرریز به صورت فوق بحرانی و پیوسته می‌باشد. در پنجه سرریز و قسمت‌های انتهایی شوت سرریز، به دلیل تقرب دیواره‌های هادی به سمت پایین دست، پدیده تداخل خطوط جریان و همگرایی مشاهده شد که در این شرایط پدیده دم خروسی<sup>۱</sup> به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۳). پدیده دم خروسی در قسمت میانی ارتفاع

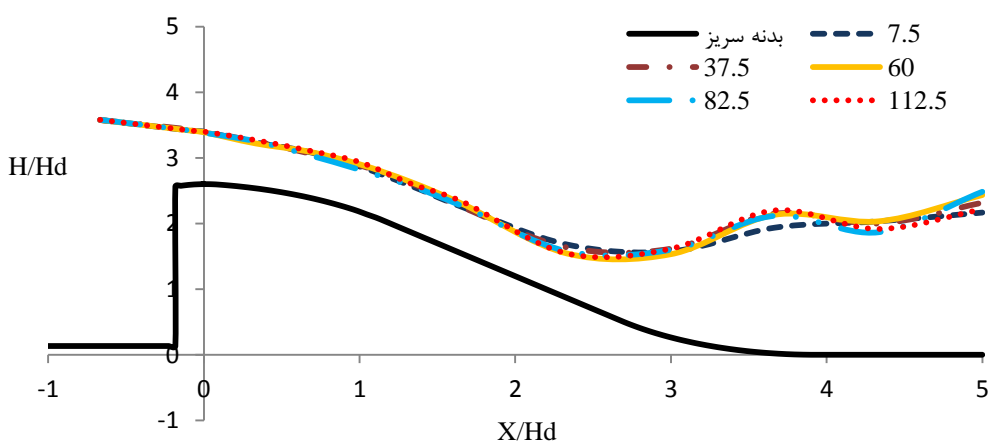
<sup>1</sup> Rooster Tail

طراحی نمونه واقعی به ازای پنج قطاع برداشتی رسم شده است. قطاع‌ها در پنج زاویه ۷/۵، ۳۷/۵، ۶۰، ۸۲/۵ و ۱۱۲/۵ درجه نسبت به هر یک از دیواره‌ها قرار داشتند.

هیدرولیکی ثابت در قسمت پنجه مشاهده شد. این روند تا دبی  $1/13Q_d$  ادامه داشت و به تدریج با افزایش دبی کارایی سرریز کاهش می‌یابد. رفتار مشاهده شده، حاکی از تشابه جریان در دو جناح سرریز می‌باشد. شکل ۴، پروفیل سطحی آب در دبی معادل دبی



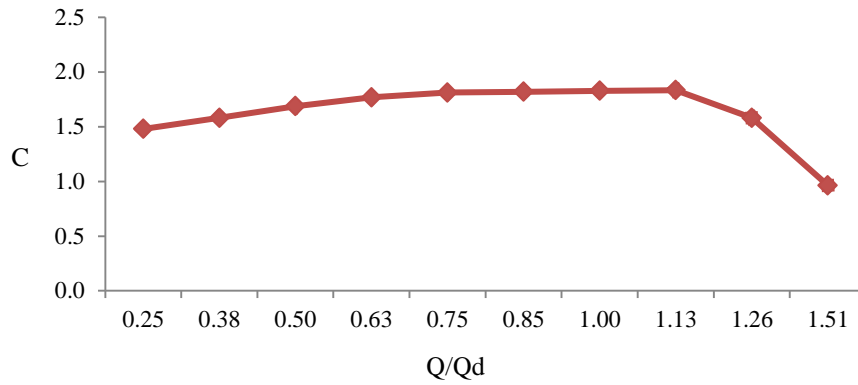
شکل ۳- پلان دم خروسی و جریان ثانویه



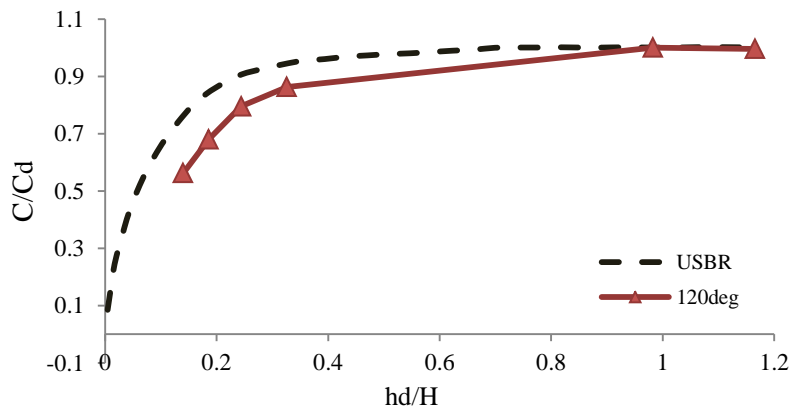
شکل ۴- پروفیل سطح آب بی‌بعد شده در دبی طراحی

کارایی آن کاهش یافته است. در حالی که در نمودار استاندارد USBR در  $\frac{h_d}{H}$  کوچک‌تر از ۰/۷۸ سرریز مستغرق شده است. ضریب دبی در حالت مستغرق در مدل سرریز در زاویه همگرایی ۱۲۰ درجه کمتر از ضریب دبی USBR می‌باشد. به دلیل این که دیواره هادی سرریز به صورت همگرا می‌باشد و در انتهای دیواره هادی همگرا یعنی در پنجه سرریز یک پیشانی قرار دارد، این پیشانی باعث کاهش ضریب دبی در روی سرریز می‌شود.

همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است، ضریب دبی سرریز مورد نظر با افزایش دبی، تا  $1/13Q_d$  روند افزایشی به خود گرفته است، به گونه‌ای که در همین دبی به مقدار  $1/833$  می‌رسد. در این وضعیت، سرریز عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهد. در شکل ۶، تأثیر پایاب به تغییرات ضریب دبی در مدل فیزیکی سرریز در زاویه ۱۲۰ درجه با استاندارد USBR مقایسه شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در مدل سرریز ۱۲۰ درجه در  $\frac{h_d}{H} < 1$  سرریز مستغرق شده و



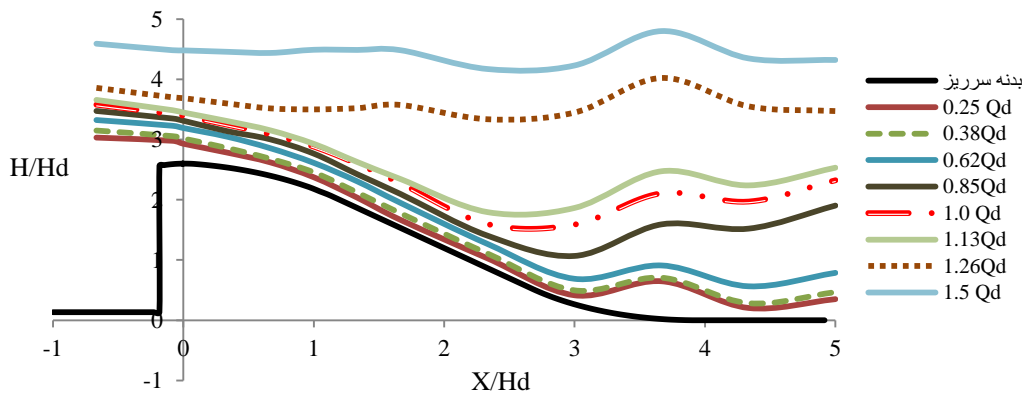
شکل ۵- ضریب آبگذری سرریز



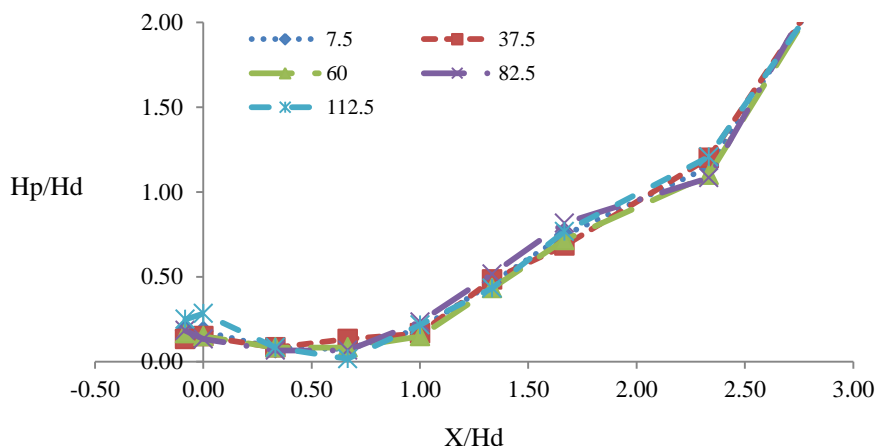
شکل ۶- تغییرات ضریب دبی در برابر اثر پایاب

در شکل ۷، پروفیل سطح آب به ازای دبی‌های مختلف نشان داده شده است، اما به ازای دبی‌های بالاتر سرریز کارایی خود را از دست می‌دهد و این بدان علت است که در این دبی‌ها جت آب شکسته شده و سرریز در این حالت در یک درجه استغراق بالا قرار دارد. همچنین، به‌خاطر تغییر رژیم جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی، در این شرایط عمق جریان در پایین‌دست عامل کنترل‌کننده دبی خواهد شد و

مقطع سرریز به‌صورت یک مانع و کانال به‌عنوان عامل محدودکننده جریان عبوری عمل خواهد کرد. با توجه به مشاهدات و نمودارها، تشابه جریان در دو جناح سرریز گزارش شده است، شکل ۸ (Hp فشار بر حسب سانتی‌متر آب می‌باشد) نیز مؤید این موضوع می‌باشد. با استفاده از این مطالب برای مقایسه پروفیل فشار در دبی‌های مختلف از مقدار میانگین خطوط جریان در هر دبی به‌عنوان شاخص مقایسه استفاده شد.



شکل ۷- پروفیل سطح آب به ازای دبی‌های مختلف

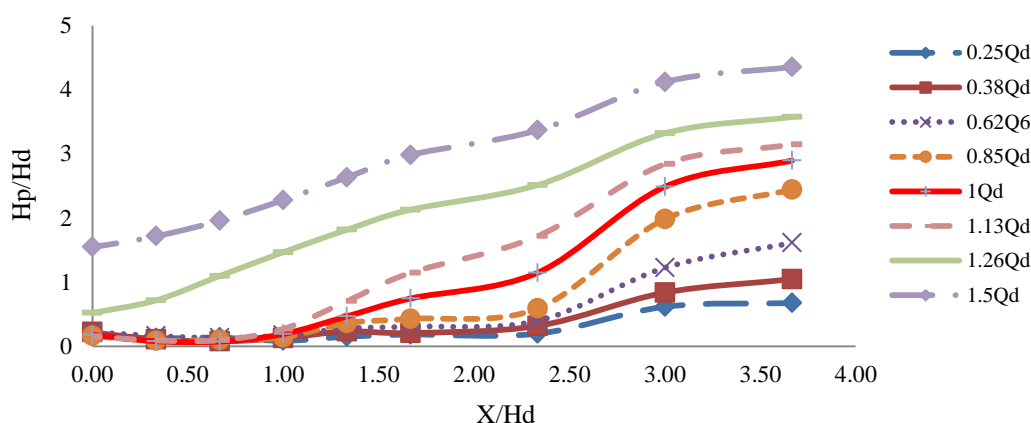


شکل ۸- پروفیل فشار بر امتداد طولی سرریز در دبی طراحی

می‌باشد و رژیم جریان در این دبی‌ها زیر بحرانی است. به همین دلیل است که ماکزیمم مقدار فشار استاتیکی معادل  $\frac{H_p}{H_d} = 4/35$  در دبی  $1/50 Q_d$  گزارش شد، در شکل ۱۰ تغییرات عدد فرود در دبی‌های مختلف نشان داده شده است.

با توجه به استغراق سرریز در دبی  $1/26 Q_d$  و نرسیدن به دبی PMF معادل  $1/8 Q_d$  نتیجه مطلوب طرح پیشنهادی حاصل نشد. مشاهدات و آزمایش‌ها نشان‌دهنده این بود که یکی از عوامل مستغرق شدن سرریز تغییر زاویه شدید دیواره‌های هادی،  $120^\circ$  درجه و کاهش قابل ملاحظه نسبت عرض کانال به طول تاج،  $L_{ch}/L = 0/214$  می‌باشد.

با توجه به آزمایش‌ها و بررسی‌هایی که بر روی مدل سرریز اوجی آزاد انجام شد، دبی‌های پایین‌تر از مقدار  $1/13 Q_d$  سازه سرریز عملکرد مناسبی از خود نشان داد و همان‌طور که در شکل ۹ نیز آورده شده است، تا رسیدن به این دبی، فشار استاتیکی در تاج سرریز در حال کاهش و در شوت و پنجه در حال افزایش می‌باشد و سازه نقش خود را به خوبی ایفا می‌کند. به گونه‌ای که  $\frac{H_p}{H_d} = 0/08$  در تاج به ازای دبی  $1/13 Q_d$  دبی طراحی قرائت شد، ولی برای دبی‌های بالاتر تا جایی که استغراق کامل سرریز اتفاق می‌افتد، سرریز کارایی خود را از دست می‌دهد و عمق جریان در پایین دست کنترل‌کننده دبی عبوری از روی سرریز



شکل ۹- مقایسه پروفیل فشار به ازای دبی‌های مختلف

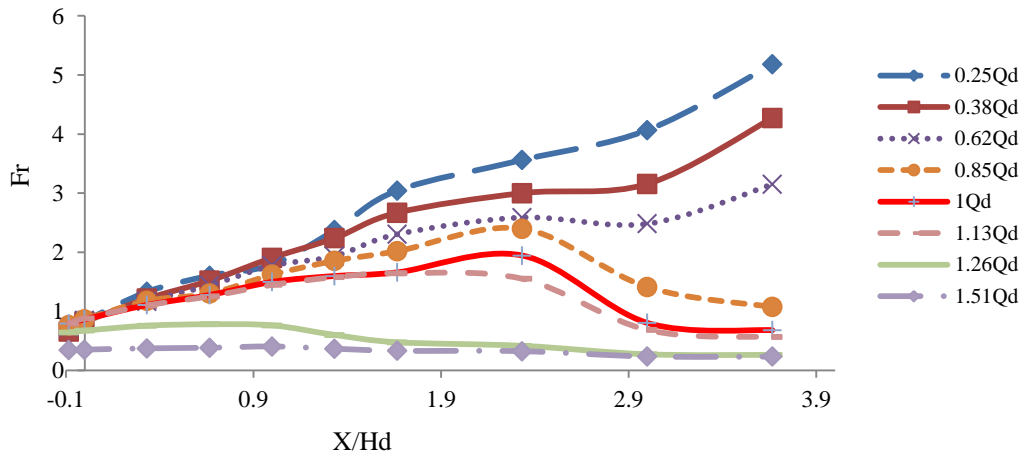
برداشتی از پروفیل سطح آب در امتداد خط مرکزی سرریز در زوایای مختلف به ازای دبی بر واحد عرض  $(\frac{L}{s.m})$   $40/52$ ، که بالاترین دبی مشترک عبوری در

در مرحله دوم آزمایش‌ها، با توجه به تقارن خصوصیات جریان در جناحین سرریز داده‌های خط مرکزی سرریز به‌عنوان شاخص استفاده شد. داده‌های

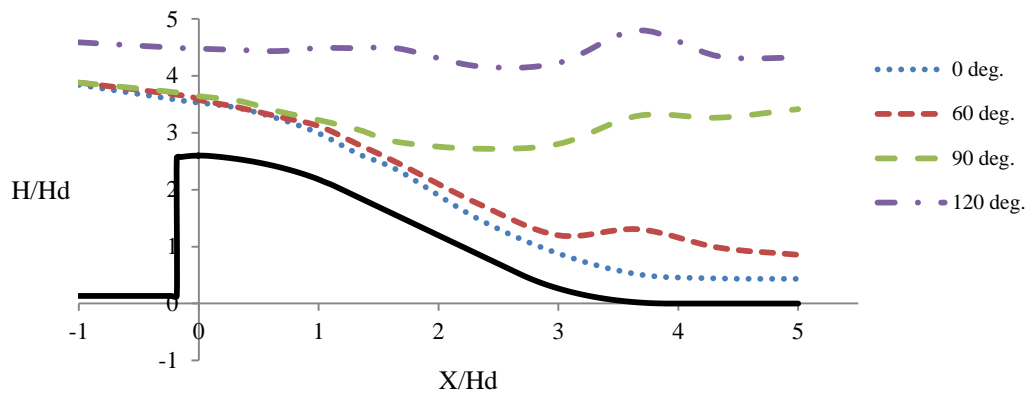


طولی سرریز نیز در شکل ۱۲ رسم شده است. همان-  
طور که مشاهده می‌شود، عمق جریان در زاویه ۱۲۰  
درجه در ایستگاه ۴/۷۲، در حدود ۱۱ برابر عمق  
جریان در زاویه صفر درجه می‌باشد.

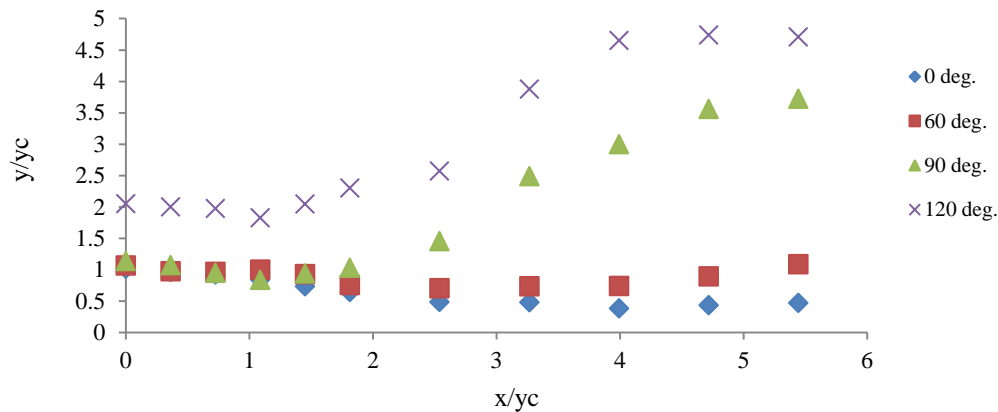
همه زوایا می‌باشد، در شکل ۱۱ جمع‌آوری شد. هر چه  
مقدار  $\theta$  افزایش پیدا می‌کند و یا به عبارتی  $\frac{L_{ch}}{L}$   
کاهش می‌یابد، ارتفاع سطح آب در قسمت شوت و  
پنجه افزایش می‌یابد. با توجه به این موضوع نمودار  
عمق جریان بی‌بعد شده با عمق بحرانی در امتداد



شکل ۱۰- مقایسه عدد فرود به ازای دبی‌های مختلف



شکل ۱۱- پروفیل بی‌بعد سطحی جریان در راستای طولی سرریز در دبی بر واحد عرض  $(\frac{L}{s.m})_{40/52}$

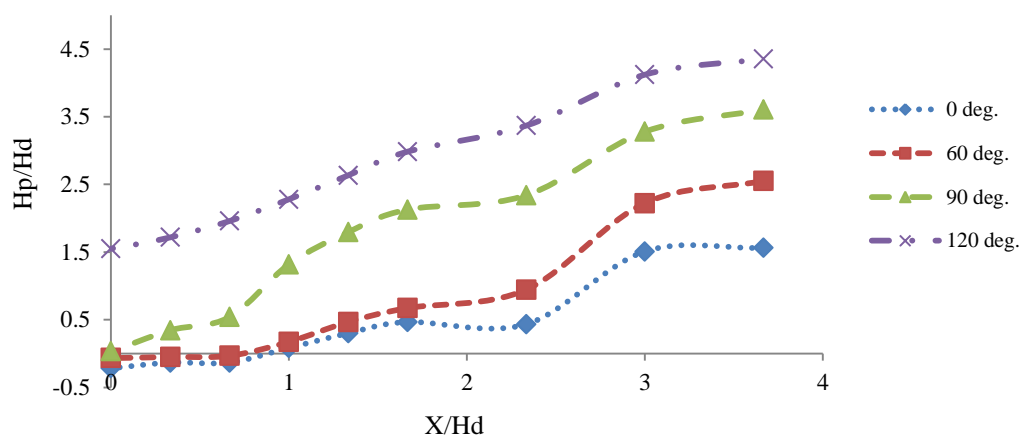


شکل ۱۲- عمق بی‌بعد جریان در راستای طولی سرریز در دبی بر واحد عرض  $(\frac{L}{s.m})_{40/52}$

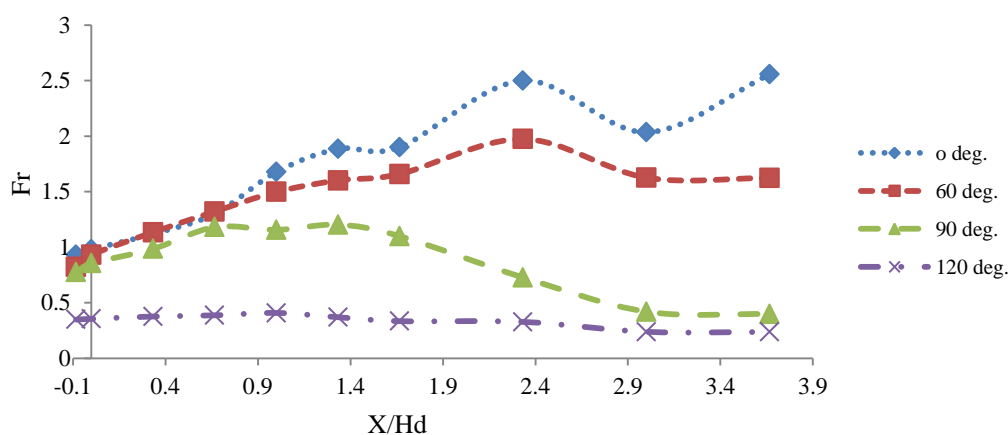
کند. به‌عنوان مثال زاویه صفر درجه با نسبت  $0.98/0 =$  دارای کمترین فشار می‌باشد که این فشار در قسمت تاج سرریز با مقدار  $0.217/H_p =$  اتفاق می‌افتد و زاویه  $120$  درجه نیز با  $0.21/L_{ch}$  دارای بیشترین فشار استاتیکی در بین زوایای مختلف گزارش شد و این فشار در قسمت پنجه با مقداری برابر  $4/35/H_p =$  مشاهده شد. در شکل ۱۴ نیز تغییرات عدد فرود به ازای دبی بر واحد عرض مذکور برای کلیه زوایا آورده شده است. این شکل مبین این است که با افزایش زاویه که خود کاهش نسبت  $L_{ch}/L$  را نیز به‌دنبال دارد، عدد فرود کاهش پیدا می‌کند. به‌عبارت دیگر همگرایی بیشتر خطوط جریان با افزایش زاویه و کاهش نسبت  $L_{ch}/L$  باعث کاهش سرعت جریان بر روی سرریز می‌شود.

در قسمت پنجه و کفبند در نواحی نزدیک به خط میانی سرریز در امتداد طولی به‌دلیل همگرایی جریان بالاترین ارتفاع سطح جریان وجود دارد و در کناره‌ها ارتفاع جریان کمتر می‌باشد.

همچنین، به‌دلیل تقارن خصوصیات جریان در جناحین، می‌توان از عمق جریان به‌عنوان شاخصی برای محاسبه دست بالای ارتفاع دیوار هادی مورد نیاز بهره گرفت. پروفیل فشار استاتیکی به ازای تمامی زوایا در قسمت تاج سرریز در حال کاهش و از ابتدای شوت تا محل پنجه، فشار در حال افزایش می‌باشد. بنابراین با توجه به شکل ۱۳ که پروفیل بی‌بعد شده فشار با ارتفاع آب طراحی در راستای طولی سرریز و در دبی بر واحد عرض  $(\frac{L}{s.m})_{40/52}$  را برای تمامی زوایای همگرایی دیواره‌های هادی سرریز نشان می‌دهد، فشار استاتیکی با افزایش زاویه افزایش پیدا می‌کند.



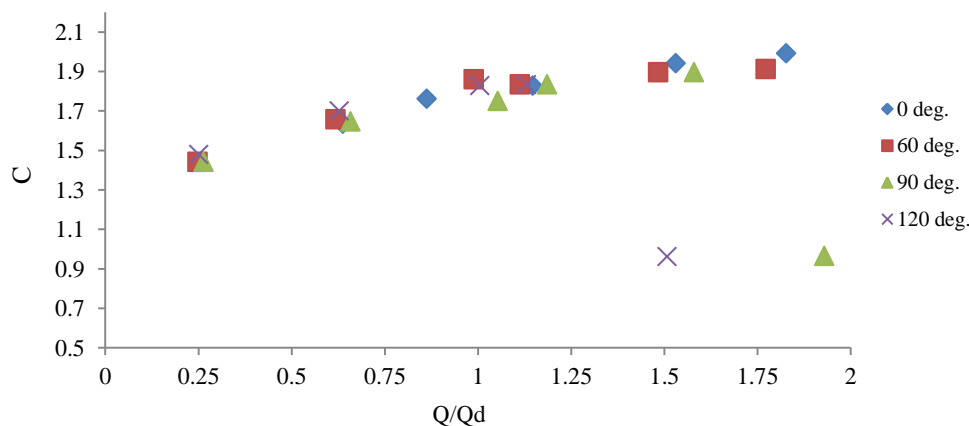
شکل ۱۳- تغییرات پروفیل بی‌بعد فشار در راستای طولی سرریز به ازای دبی بر واحد عرض  $(\frac{L}{s.m})_{40/52}$



شکل ۱۴- تغییرات عدد فرود نسبت به تغییر زوایا در راستای طولی سرریز به ازای دبی بر واحد عرض  $(\frac{L}{s.m})_{40/52}$

استغراق پیش رفت، به دلیل کاهش عملکرد مناسب سرریز ناشی از تغییر رژیم جریان و تأثیر پایین دست بر جریان بالادست تفاوت در ضریب دبی‌ها نمایان شد. با توجه به همین استدلال می‌باشد که ضریب دبی در زاویه ۱۲۰ درجه که نسبت به زاویه ۹۰ درجه زودتر مستغرق شد، زودتر سیر نزولی پیدا می‌کند.

همان‌طور که انتظار می‌رفت تا قبل از پدیده استغراق که برای زوایای ۹۰ و ۱۲۰ درجه در آزمایش‌ها مشاهده شد، در کلیه حالات به دلیل رژیم فوق بحرانی که بر جریان عبوری از سرریز حاکم بود، تغییر زاویه همگرایی دیواره‌های هادی تأثیری بر ضریب دبی نداشت که شکل ۱۵ نیز حاکی از این موضوع می‌باشد. اما هنگامی که سرریز به سمت



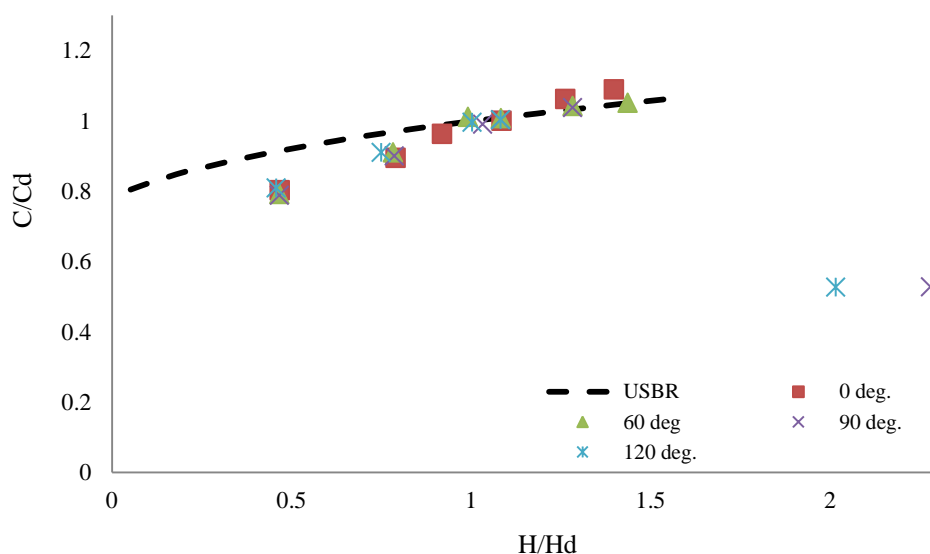
شکل ۱۵- تغییرات ضریب دبی به ازای دبی بر دبی طراحی با تغییر زاویه همگرایی دیواره‌ها

دیواره‌های هادی داشته باشد و افت انرژی ناشی از همگرایی کمتر خواهد شد. در زاویه ۹۰ و ۱۲۰ درجه در بازه  $\frac{H}{H_d} > 1/8$  به دلیل استغراق سرریز نمودار روند کاهشی به خود گرفته و کاهش کارایی سرریز نسبت به USBR مشاهده می‌شود. با توجه به این مطلب که یکی از وظایف اصلی سرریز عبور آب‌های اضافی و سیلاب‌ها می‌باشد، نمودار دبی-ارتفاع آب سرریز در زوایای مختلف در شکل ۱۷ رسم شد تا از آن به‌عنوان شاخصی مناسب برای یافتن زاویه مناسب در بین این زوایا استفاده شود.

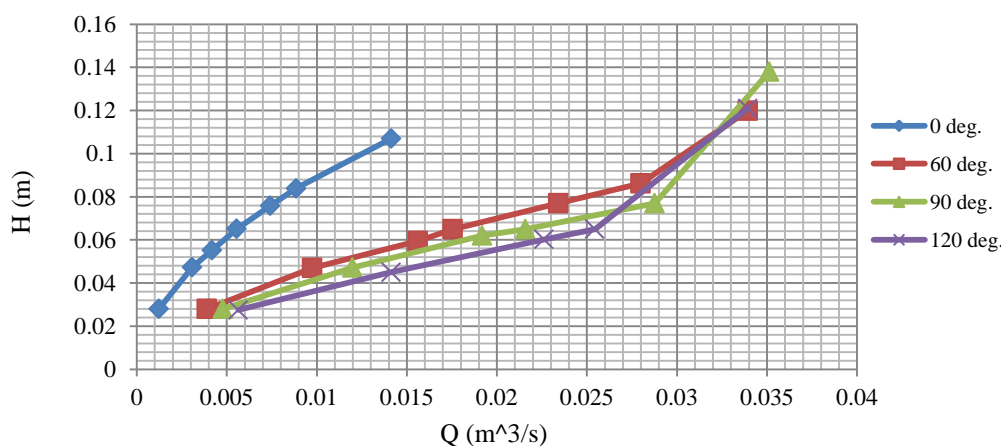
از آن‌جایی که بیشینه ارتفاع آب مجاز سرریز در نمونه واقعی پنج متر و در مدل فیزیکی معادل ۱۰ سانتی‌متر می‌باشد، با توجه به نمودار واضح به‌نظر می‌رسد که زاویه ۶۰ درجه با عبور دبی  $(\frac{L}{s.m})_{31}$  با داشتن طول تاج کمتر نسبت به زاویه ۱۲۰ درجه، که طرح اولیه مدل می‌باشد، با کاهش طول تاج به اندازه ۴۵ درصد می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین زاویه انتخاب شود. پرداختن به این مطلب نیز ضروری است که هدف طرح عبور دبی  $(\frac{m^3}{s})_{717}$  در واقعیت معادل

در شکل ۱۶، نمودار ارتفاع سطح آب-ضریب دبی به ازای زوایای مختلف در مقایسه با USBR نشان داده شده است، همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در  $\frac{H}{H_d} = 1$  در تمامی زوایا مقدار  $\frac{C}{C_d} = 1$  می‌باشد. مقدار ضریب دبی در شرایط قوس محوری به سمت پایین‌دست در بازه  $0/8 < \frac{H}{H_d} < 0/45$  کمتر از ضریب دبی در شرایط محور مستقیم USBR است که این نشان‌دهنده تأثیر قابل ملموس اثر قوس محوری در جهت پایین‌دست بر ضریب دبی می‌باشد که دلیل این امر می‌تواند فشردگی خطوط جریان در شرایط قوس محوری به سمت پایین‌دست باشد. اما در بازه  $0/45 < \frac{H}{H_d} < 0/8$  با افزایش بار آبی کل ضریب آبگذری در حالت قوس محوری با ضریب آبگذری در شرایط محور مستقیم USBR تطابق دارد و علت این رفتار جریان نیز چنین می‌توان توضیح داد که با افزایش دبی و به‌عبارت دیگر افزایش ارتفاع آب روی تاج سرریز، سرعت عبور جریان از روی سرریز نیز افزایش می‌یابد که این افزایش سرعت جریان، به سیال عبوری از روی سرریز این اجازه را می‌دهد که تأثیرپذیری کمتری از

۴۰/۵۶ ( $\frac{L}{s.m}$ ) در مدل فیزیکی با مقیاس ۱:۵۰ می‌باشد و سرریز مذکور برای عبور بیشینه دبی سیلاب مناسب و سرریز مذکور برای عبور بیشینه دبی سیلاب مناسب نمی‌باشد و بایستی تمهیدات دیگری در نظر گرفته شود.



شکل ۱۶- نمودار ارتفاع سطح آب-ضریب دبی به ازای زوایای مختلف در مقایسه با USBR



شکل ۱۷- هد سرریز به ازای دبی‌ها و زوایای مختلف

### نتیجه‌گیری

نتایج مشاهدات و آزمایش‌ها نشان‌دهنده این است که یکی از عوامل مستغرق شدن سرریز تغییر زاویه شدید دیواره‌های هادی، ۱۲۰ درجه و کاهش قابل ملاحظه نسبت عرض کانال ( $L_{ch}$ ) به طول تاج ( $L$ ) می‌باشد. فشار استاتیکی در همه زوایا، در تاج کاهش و در شوت و پنجه سرریز در حال افزایش گزارش شده است، به نحوی که  $\frac{H_p}{H_d} = 0.217$  -  $0.214$  در تاج به ازای دبی  $Q_d = 1/13$  در صفر درجه قرائت شد. در زوایای ۹۰ و ۱۲۰ درجه نیز به ازای

تحقیق حاضر می‌تواند به طراحانی که با محدودیت اجرایی در عرض کانال پایین دست روبرو هستند و همچنین، عرض کانال نسبت به طول تاج کاهش چشمگیری دارد، ایده اولیه مناسبی را در طرح این نوع سرریزها ارائه دهد. البته نگرانی که در طرح این نوع سرریز وجود دارد، پدیده جریان دم خروسی به-وجود آمده در پنجه سرریز می‌باشد که ممکن است تأثیر نامطلوبی با ایجاد فشارهای دینامیکی در پنجه و کفبند سرریز بگذارد، لذا اندازه‌گیری فشارهای دینامیکی ناشی از این پدیده توصیه می‌شود.

دبی‌های بالاتر و مستغرق شدن سرریز با تغییر رژیم جریان روی سرریز از فوق بحرانی به زیر بحرانی فشار افزایش یافته و بالاترین فشار به ازای دبی  $1/50 Q_d$ ، مقدار  $\frac{H_p}{H_d} = 4/35$  در زاویه  $120^\circ$  درجه گزارش شده است. در زوایای مذکور زاویه  $60^\circ$  درجه با نسبت  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/32$  با توجه به طول تاج کمتر،  $45\%$  درصد کاهش طول تاج به زاویه  $120^\circ$  درجه و نسبت

انتخاب شد.  $\frac{L_{ch}}{L} = 0/214$ ، به‌عنوان زاویه مناسب در بین این زوایا

### تشکر و قدردانی

نویسندگان از همکاری مسئولین و کارکنان پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری و همچنین، کمک و مساعدت آقای دکتر امیرحسین فرودی در ساخت ماکت سرریز کمال تشکر و قدردانی را دارند.

### منابع مورد استفاده

1. Bazin, H. 1888. Experiences nouvelles sur l'écoulement par deversoir. (recent experiments on the flow of water over weirs). Memoires et Documents, Annales des Ponts et Chaussees, Paris, France, 6(16): 393-448 (in French).
2. Beirami, M.K. 1997. Water conveyance structures. 462 pages.
3. Bradley, J.N. 1945. Studies of flow characteristics, discharge and pressures relative to submerged dams (Hydraulic Laboratory Report). United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, B0007F2OQ6.
4. Cassidy, J.J. 1965. Irrotational flow over spillways of finite height. Journal of the Engineering Mechanics Division, 91(6): 155-173.
5. Chatila, J. and M. Tabbara. 2004. Computational modeling of flow over an ogee spillway. Computers and Structures, 82(22): 1805-1812.
6. Dargahi, B. 2006. Experimental study and 3d numerical simulations for a free-overflow spillway. Journal of Hydraulic Engineering, 132(9): 899-907.
7. Ho, D., K. Boyes, S.H. Donohoo and B. Cooper. 2003. Numerical flow analysis for spillways. 43rd ANCOLD Conference, Hobart, Tasmania.
8. Hunt, S.L., K.C. Kadavy, S.R. Abt and D.M. Temple. 2008. Impact of converging chute walls for roller compacted concrete stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering, 134(7): 1000-1003.
9. Johnson, M.C. and B.M. Savage. 2006. Physical and numerical comparison of flow over ogee spillway in the presence of tail water. Journal of Hydraulic Engineering, 132(12): 1353-1357.
10. Kim, D.G. and H.J. Park. 2005. Analysis of flow structure over ogee-spillway in consideration of scale and roughness effects by using CFD model. Journal of Civil Engineering, 9(2): 161-169.
11. Maynard, S.T. 1985. General spillway investigation: hydraulic model investigation. Washington, DC: Department of the Army, US Army Corps of Engineers, 28 pages.
12. Morales, V., T.E. Tokyay and M. Garcia. 2012. Numerical modeling of ogee crest spillway and tainter gate structure of a diversion dam on Canar River, Ecuador. XIX International Conference on Water Resources, University of Illinois at Urbana-Champaign.
13. Savage, B.M. and C.M. Johnson. 2001. Flow over ogee spillway physical and numerical model case study. Journal of Hydraulic Engineering, 127(8): 640-649.
14. Swamee, P.K., C.H. Shekhar and M. Talib. 2011. Discharge characteristics of skew weirs. Journal of Hydraulic Research, 49(6): 812-820.
15. United States Department of the Interior, Brureau of Reclamation (USBR). 1980. Hydraulic Techniques. U.S. Government Printing Office, Denver, 327 pages.

## Study on effects of ogee spillway guide walls changes on its hydraulic performance

Ali Forudi Khowr<sup>\*1</sup>, Mahdi Azhdary Moghadam<sup>2</sup> and Mojtaba Saneie<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc Student, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Iran, <sup>2</sup> Associate Professor, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Iran and <sup>3</sup> Associate Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 05 December 2013

Accepted: 10 May 2014

### Abstract

This study aimed to analyse the design of spillway in curved plan and downward angle of convergence. In this plan the effective length of the spillway is reduced from the crest to the toe for several times. Tests were carried out in two stages. In the first stage, a physical model of the real sample was prepared for a specific site in the scale of 1:50. In this stage, experiments were performed for eight different discharges making up to 25 to 150% of the design discharge of the real sample. The spillway demonstrated a satisfactory performance up to the discharge of  $1.13Q_d$  (Design Discharge). Gradually an increase in the discharge led to a decrease in the performance of the spillway so that with a discharge of  $1.26 Q_d$  the spillway was fully submerged and the downstream channel took control of the discharge. Observations and experiments indicated that one of the factors contributing to the swamp of the spillway was a severe variant of the guide wall (120 degrees) as well as the considerable decrease in the ratio of channel length ( $L_{ch}$ ) to crest length ( $L$ ), i.e.  $\frac{L_{ch}}{L} = 0.214$ . In the second stage, the effect of variation of convergence angle of the guide walls of the spillway was studied. To this end, a physical model with three convergence angle of the guide walls, including a 0-degree angle and ratio of  $\frac{L_{ch}}{L} = 0.98$ ; a 60-degree angle with ratio of  $\frac{L_{ch}}{L} = 0.32$ ; and a 90-degree angle with ratio of  $\frac{L_{ch}}{L} = 0.26$  was tested. The effect of variations of angles in discharge coefficient was reported to be negligible before the swap. At the 0-degree angle with ratio of  $\frac{L_{ch}}{L} = 0.98$ , the highest discharge was 1.99 because the model was not submerged in a discharge equal to the PMF discharge of the real sample. In all angles, the static pressure on the crest was reduced while it was increased in the shoot and toe. So that, in the crest a ratio of  $\frac{H_p}{H_d} = -0.217$  was recorded for a discharge of  $1.13 Q_d$ . At the angles of 90 and 120 degree, higher discharges led to swamp of the spillway and a change of the current flowing on the spillway from supercritical to subcritical. The high pressure was reported to be  $\frac{H_p}{H_d} = 4.35$  of the 120-degree angle for a discharge of  $1.5Q_d$ . Since at the 60-degree angle ( $\frac{L_{ch}}{L} = 0.32$ ), the length of the crest was smaller (45% less than the 120-degree angle with  $\frac{L_{ch}}{L} = 0.214$ ), it was selected as the proper angle.

**Key words:** Angle of convergence, Critical discharge, Discharge ratio, Physical model, Static pressure

\* Corresponding author: aliforudi.civil@yahoo.com