

تأثیر زاویه همگرایی دیواره‌های هادی سرریز اوجی با قوس ورودی بر عملکرد هیدرولیکی کانال پایین‌دست در دو حالت متقارن و نامتقارن

مجتبی صانعی^۱، کیومرث روشنگر*^۲، علی فرودی^۳، حمید حاجی پور لیموئی^۴

تاریخ دریافت: تاریخ پذیرش:

۱- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری جهاد کشاورزی تهران

۲- دانشیار گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۳- دانشجوی دکتری عمران-سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز

۴- دانشجوی دکتری عمران-آب، دانشگاه آزاد واحد نجف آباد

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: kroshangar@yahoo.com

چکیده

سرریز اوجی قوس محور نسبت به سرریز با تاج خطی، دارای طول تاج بیشتری است. از این رو در یک تراز معین آن در دریاچه، قادر به تخلیه بده بالاتری نسبت به سرریز مستقیم است و به همین دلیل در طرح‌هایی که استفاده از آن‌ها میسر است، ارجحیت دارند. در مطالعه حاضر مدل فیزیکی سرریز سد گرمی چای با مقیاس ۱:۵۰ که از نوع اوجی قوس محور و دیواره‌های متقارب است در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری ساخته شده، تأثیر قرارگیری دیواره‌های هادی سرریز در زاویه‌های ۶۰ و ۹۰ درجه در دو حالت متقارن و نامتقارن، بر پارامترهای هیدرولیکی جریان شامل پروفیل سطح آب، عمق و توزیع فشار پیزومتریک در کانال پایین‌دست سرریز بررسی گردید. آزمایش‌ها با دبی‌های مختلف از ۳۰٪ تا ۱۷۷٪ دبی طراحی انجام گردید. مطابق نتایج حاصله در پنجه سرریز و قسمت‌های انتهایی شوت سرریز، به دلیل تقرب دیواره‌های جانبی به سمت پایین‌دست، پدیده تداخل خطوط جریان و همگرایی اتفاق افتاد که در این شرایط پدیده دم‌خروسی به وضوح مشاهده گردید، همچنین نتایج حاصله نشان داد در زاویه‌های ۹۰ درجه پدیده دم‌خروسی تا دبی معادل ۱۱۸٪ دبی طراحی تشکیل می‌گردد، در حالی که در زاویه‌های ۶۰ درجه این پدیده تا دبی معادل ۱۴۷٪ دبی طراحی اتفاق می‌افتد. در ضمن مشاهدات تجربی تأیید کرد به دلیل عدم تقارن دیواره‌ها دیواره نزدیک به جریان دم‌خروسی از فشار استاتیکی بیشتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: زاویه تقرب، سرریز اوجی، عملکرد هیدرولیکی، کانال پایین‌دست، مدل فیزیکی

Impact of Angle of Converging Training Walls of Ogee-Spillway with a Curve Axis on Hydraulics Performance of Chute in Both Symmetrical and Asymmetrical Situations

M Saneie¹, KRoshangar^{*2}, A Foroudi³, H Haji Pour Limueie⁴

Received: Accepted:

¹ Assoc. Prof., Hydraulic Structures., Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Iran

² Assoc. Prof., Water. Dept., Faculty of Civil Engineering., Univ. of Tabriz, Iran

³ Ph.D. Student of Hydraulic Structure, Faculty of Civil Engineering., Univ. of Tabriz, Iran

⁴ Ph.D. Student of Water Engineering, Islamic Azad Univ. of Najafabad, Iran

* Corresponding Author, Email: kroshangar@yahoo.com

Abstract

The ogee spillway with a curve axis has a longer crest length than the spillway with linear crest. Therefore, in a specific reservoir water level, it can discharge higher flow rate compared to a straight one and due to this reason is preferred in applicable plans. In this study, physical model of Germe-Chai spillway which include an ogee crest with a curve axis and converging training walls was constructed in scale of 1:50. The SCWMRI Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, has led a research effort on it. For each of the convergence angles, including 60 and 90° in both symmetrical and asymmetrical situations, flow characteristics such as discharge, water surfaces, depths and distributions of pressure were investigated in the downstream channel of the spillway. Experiments conducted in varying flow discharge from 30% to 177% of design discharge. Based on visual observation, at the toe and the end of straight portions of the spillway face, due to converging training walls, interference streamlines occurred which led to generate a rooster tail phenomenon. It was observed that in the convergence angle of 90°, rooster tail had been witnessed up to slightly more than 118% Qd. However, it saw nearly 147% Qd in 60° convergences. Moreover, it should be emphasized that due to asymmetric angles, closest wall to the rooster tail had more static pressure.

Keywords: Convergence angles, Downstream channel, Hydraulic performance, Ogee spillway, Physical model

مقدمه

آب لبریز شده از یک سرریز لبه تیز مستطیلی با همان مشخصات مورد نیاز در بالادست سرریز اصلی باشد (نجمائی ۱۳۷۴). علیرغم پیشرفت زیادی که در طرح و محاسبه سدها و تأسیسات مربوطه با استفاده از روش‌های عددی و تحلیلی شده است، با توجه به پیچیدگی جریان و پارامترهای مؤثر بر آن 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

معمولترین و در عین حال ارزانتترین 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 به منظور بالا آوردن سطح آب و انحراف آن به مزرعه استفاده می‌شود. این سرریزها براساس محاسبات هیدرولیکی مربوط به سرریزهای با تاج مدور به گونه‌ای طراحی می‌شوند که نیمرخ تاج و جلو ساختمان آنها منطبق بر سطح زیرین

مدل‌های فیزیکی و عددی از دبی جریان در طول سرریز و همچنین فشار موجود در تاج استفاده گردید، تطابق خوبی از مقایسه مدل فیزیکی و عددی مشاهده گردید. مارچیرسون (۲۰۰۷) یک مدل محاسباتی از جریان بر روی سرریز اوجی شیب‌دار با پلان قوسی را که دارای دیواره‌های هادی همگرا با زاویه ۱۲۰ درجه بود، با استفاده از مدل CFD مورد مطالعه قرار داد. در نهایت تطابق قابل قبول بین نتایج مدل عددی و فیزیکی برای ظرفیت تخلیه، توزیع فشار و پروفیل سرعت و یک ناهماهنگی در نیروی وارد بر بلوک‌های حوضچه و پروفیل جریان بر روی دیواره‌ها بین دو مدل مشاهده شد. هانت و همکاران (۲۰۰۸) نیز مطالعه‌ای بر روی مدل فیزیکی سرریز پلکانی تحت تأثیر تغییر زاویه همگرایی دیواره‌های جانبی، برای محاسبه کمینه ارتفاع مورد نیاز دیواره‌های جانبی انجام دادند که بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده به‌ازای دبی واحد، عمق جریان در امتداد دیواره‌های هادی در زاویه ۵۲ درجه، در ایستگاهی خاص ۲/۵ برابر عمق جریان در امتداد دیوار هادی در زاویه همگرایی ۱۵ درجه است و همچنین رفتار جریان در دو جناح سرریز یکسان است. سوامی و همکاران (۲۰۱۱) نیز به بررسی خصوصیات دبی بر روی سرریزهای مورب پرداختند، آن‌ها رابطه جدیدی برای محاسبه ضریب دبی در این نوع سرریزها ارائه دادند که رابطه پیشنهادی تطابق خوبی با مقادیر آزمایشگاهی داشت. مورالس و همکاران (۲۰۱۲) نیز مدل‌سازی عددی و فیزیکی سرریز اوجی با درجه قطاعی سد انحرافی رودخانه کانر در اکوادور را انجام دادند، پروفیل سطح آب و سرعت نسبی در دو مدل با یکدیگر مقایسه گردید و تطابق خوبی از این دو روش حاصل گردید. شیخ کاظمی و همکاران (۱۳۹۵) اثر مقیاس بر پروفیل سطح آب در سرریزهای اوجی با انحنا در پلان و دیواره‌های متقارب را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد در دبی‌های کمتر از دبی طرح به دلیل تأثیر لزجت و کشش سطحی اختلاف سطح آب در مدل در مقیاس‌های مختلف، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارد،

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. سوچ و جانسون (۲۰۰۱) جریان بر روی سرریز اوجی را به صورت فیزیکی و عددی مدل‌سازی نمودند و همچنین نتایج خود را با داده‌های موجود در USBR و USACE مقایسه کردند، آن‌ها برای مقایسه از منحنی‌های دبی بی بعد شده استفاده نمودند و به تطابق خوبی در نتایج عددی و فیزیکی رسیدند. هو و همکاران (۲۰۰۳) به تحلیل جریان عبوری از روی سرریز با استفاده از مدل CFD به دو صورت دوبعدی و سه‌بعدی پرداختند و به تطابق خوبی از مقایسه روش عددی و تحلیلی سرریز اوجی شکل استاندارد رسیدند. چاتیل و تابارا (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 به‌عنوان سطوح مبنا در آزمایشگاه پرداخته شد، در نهایت نشان داده شد که سطوح آزاد جریان پیش‌بینی شده توسط این مدل هماهنگی خوبی با ویژگی‌های جریان روی سرریزها و همچنین با پروفیل‌های اندازه‌گیری شده جریان در تمام بدنه سرریز دارد. درگاهی (۲۰۰۶) به مطالعه آزمایشگاهی و مدل‌سازی عددی جریان آزاد بر روی سرریزهای اوجی پرداخت، در این پژوهش در تمام پروفیل‌های سرعت نکته جالبی مشاهده گردید، در لایه‌مرزی سرعت تابعی لگاریتمی از عمق جریان بود. جانسون و سوچ (۲۰۰۶) به مقایسه فیزیکی و عددی جریان عبوری از روی سرریزهای اوجی با وجود پایاب پرداختند، در این پژوهش از دو مدل فیزیکی از سرریز اوجی که به‌وسیله پلکسی ساخته شده بود، استفاده گردید، مدل A، در قسمت انتهایی دارای فیلیپ باگت و مدل B در قسمت انتهایی به صورت افقی بود، برای مدل‌سازی عددی نیز از نرم‌افزار 3D FLOW استفاده گردید، برای مقایسه

است (شکل ۱). کانال‌های باز طوری طراحی می‌شوند که آب را تحت شرایط نیروی ثقل انتقال دهند. قرائت پروفیل سطح آب در سراسر طول کانال و به ازای نقاط با مختصات مشخص انجام شد. برای اندازه‌گیری پروفیل جریان، قرائت عمق‌سنج در ۱۰ قطاع روی کانال در زاویه‌های عنوان شده و برای هر قطاع ۷ نقطه انجام شد که سه نقطه از نقاط قرائت‌شده دقیقاً منطبق بر پیزومترهای کف کانال بوده است. به‌منظور جابه‌جایی در طول کانال و اندازه‌گیری عمق جریان، عمق‌سنج روی یک ارابه قرار دارد که این ارابه روی ریلی که در بالای کانال نصب شده است حرکتی در جهت طولی و عرضی دارد. اندازه‌گیری‌ها در مجموع برای ۷۰ نقطه روی کانال و به ازای ۶ دبی شامل (۳۴، ۲۸/۲۵، ۲۲/۶، ۱۷، ۱۱/۳، ۵/۶۵) لیتر بر ثانیه انجام شد. برای به‌دست آوردن ارتفاع آب و تنظیم دبی از یک سرریز مثلثی استفاده شده است که با قرائت آب روی آن می‌توان دبی موردنیاز سرریز را تنظیم کرد. به‌منظور اندازه‌گیری مقادیر متوسط فشار تعداد ۲۷ پیزومتر در ۹ ردیف ۳ ستونی در کف کانال استفاده شده است (شکل ۲). اندازه‌گیری فشارهای پیزومتریک به‌وسیله تابلویی که مجهز به کاغذ میلی‌متری بوده است صورت گرفته است. قابل‌ذکر است برای اندازه‌گیری فشار، اختلاف عمق پیزومترها موردقبول بوده است به این معنی که ابتدا در حالتی که جریان برقرار است میزان فشارها قرائت شده و یکبار هم در حالتی که جریان برقرار نیست میزان فشار قرائت شده و اختلاف قرائت‌ها ملاک برای مقایسه قرار گرفته است، در شکل ۲ الف و ب، به‌ترتیب پلان مدل با نمایش مختصات نقاط هدف در هر قطاع برای برداشت پروفیل سطحی آب و همچنین نمای جانبی مدل به نمایش در آمده است.

اما با افزایش دبی این تأثیرات کاسته شده و اختلاف پروفیل سطح آب به ازای مقیاس‌های متفاوت کاهش می‌یابد. برای درک بهتر سرریز اوجی و خصوصیات آن یادآوری این نکته ضروری است که یک تغییر در پارامترهای طراحی استاندارد به‌مانند تغییر در شرایط جریان بالادست، تصحیح جزئی در شکل تاج، یا تغییر سازه‌ای می‌تواند مشخصه‌های جریان را تغییر دهد. هر گاه شرایط توپوگرافی محدود باشد انحنا محور سرریز، باعث افزایش طول سرریز می‌شود به‌نحوی که در عرض ثابت، سرریز با محور قوس دار دارای طول بیشتری نسبت به سرریز محور مستقیم است، از طرفی در شرایطی که عرض قسمت پایین دست نسبت به طول تاج مؤثر سرریز کمتر باشد می‌توان از همگرایی دیواره‌های هادی به سمت پایین‌دست بهره‌جست، لذا در این پژوهش به بررسی طرح سرریزی با قوس در پلان و زاویه تقرب به سمت پایین‌دست، که طول مؤثر از تاج تا پنجه چند برابر کاهش می‌یابد پرداخته شده است. برای این منظور تصمیم بر آن شد که مدل فیزیکی سد گرمی چای ساخته شده و اثر تغییر زاویه تقرب دیواره‌های هادی در دو حالت متقارن و نامتقارن بر کانال پایین‌دست آن مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه که در پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است مدل آزمایشگاهی سرریز سد که از نوع اوجی آزاد قوس محور با طول مؤثر ۸۴ سانتی‌متر است، با استفاده از مصالح ضد آب ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت که در انتهای مسیر اوجی، جریان وارد کانال (شوت) به طول ۱۴۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و عرض ۱۸ سانتی‌متر با شیب ۶ درصد می‌شود. ابتدای کانال به طول ۸ سانتی‌متر به‌صورت افقی

نتایج و بحث

پایین دست در اثر برخورد با جریان با سرعت بالاتر به سمت پنجه پس زده می شوند و مسیری دورانی را تجربه می نمایند (شکل ۵). در زاویه های نامتقارن این پدیده قابل رؤیت است اما نسبت به خط تقارن طولی کانال متمایل است. در شکل ۶، پروفیل سطح آب (Hw) بی بعد شده با بارآبی طراحی سرریز Hd، به ازای دبی های مختلف در زاویه ۶۰ درجه متقارن نشان داده شده است. با توجه به مشاهدات و همانطور که در شکل ۶ نیز نمایش داده شد ارتفاع سطح آب در زوایای مختلف با افزایش دبی، افزوده می گردد؛ به نحوی که در دبی های ۲۸ (۱۴۷٪ دبی طراحی) و ۳۴ (۱۷۷٪ دبی طراحی) لیترا بر ثانیه به بیشینه مقدار خود می رسد. در جریان های فوق بحرانی هر مانع موجود در جریان آب باعث ایجاد یک موج سطحی شده که در عین حال که به سمت پایین دست حرکت می کند، در

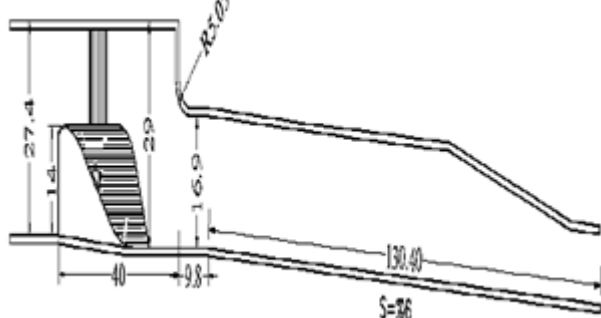
بر اساس مشاهدات از ۳۰٪ دبی طراحی (Qd) تا ۱۷۷٪ دبی طراحی در زاویه های همگرایی ۶۰ و ۹۰ درجه دیواره ها در هر دو حالت متقارن و نامتقارن، جریان حاکم بر روی سرریز به صورت فوق بحرانی و پیوسته است، همچنین در پنجه سرریز و قسمت های انتهایی شوت سرریز، به دلیل تقرب دیواره های جانبی به سمت پایین دست، پدیده تداخل خطوط جریان و همگرایی مشاهده گردید که در این شرایط پدیده دمخروسی به وضوح قابل مشاهده است (شکل ۴). پدیده دمخروسی واژه توصیفی است که برای شناسایی سطح فواره زدن آبی که با تداخل امواج نوسانی یا امواج ایستاده ایجاد می گردد (تانر ۱۹۸۲). دمخروسی در قسمت میانی ارتفاع بیشتری داشته و در کناره ها کوتاه تر است، در اطراف



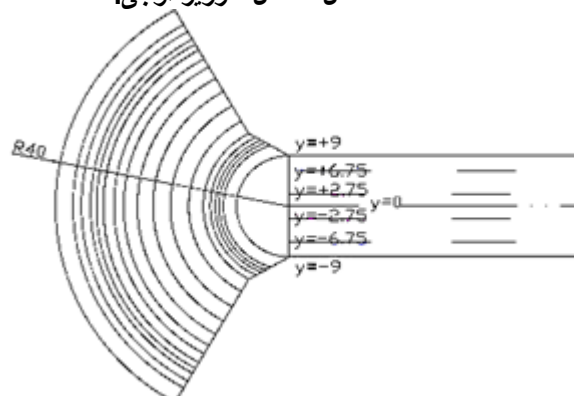
شکل ۲- پیزومترهای کف کانال.



شکل ۱- مدل سرریز اوجی.



(ب)



(الف)

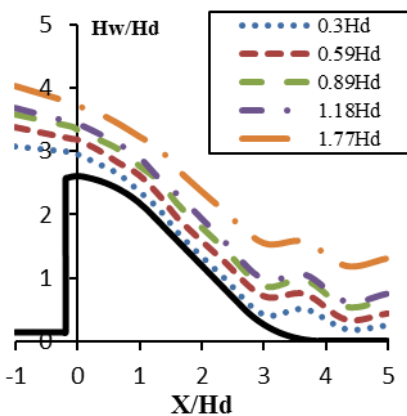
شکل ۳- (الف) مختصات نقاط هدف در برداشت پروفیل سطح، (ب) نمای جانبی مدل.

عرض جریان نیز پیش می رود. وجود دیواره های جداکننده نیز در مسیر جریان آب باعث انبساط جریان بعد از انتهای دیواره ها می شود، جریان منبسط شده از هر

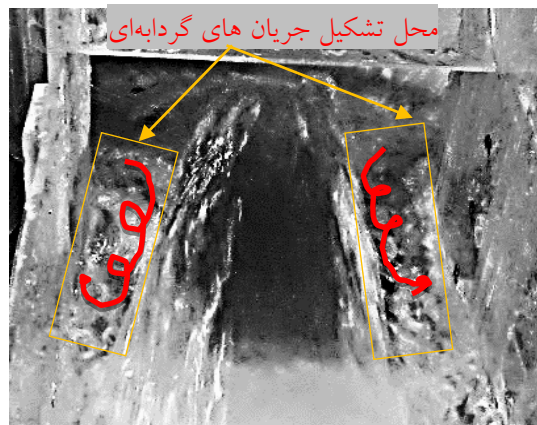
دمخروسی جریان های ثانویه مشاهده گردید که این جریان می تواند به خاطر کم سرعت بودن خطوط جریان در نزدیکی دیواره ها باشد که در هنگام ورود به کانال

جریان جدا شده و امواج تشکیل می شود. این امواج به سمت طرفین مسیر در امتداد پایین دست منحرف می شوند. اگر سرریز دارای دیواره باشد این دیواره ها باعث به وجود آمدن موج دمخروسی می شوند و این موج ها به شکل لوزی در امتداد تنداب پیش می روند و منجر به برخورد و تقاطع امواج جریان در طول تنداب می شود. در این زاویه تا دبی ۲۸ لیتر بر ثانیه (۱۴۷٪ دبی طراحی) پدیده دمخروسی به صورت واضح مشاهده می شود. دیواره های سرریز نسبت به هم زاویه ۶۰ درجه دارند، این زاویه نسبت به رأس سرریز دارای تقارن است. همان طور که در شکل های ۷ و ۸ مشاهده می شود در این زاویه پدیده دمخروسی از دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه تا دبی ۲۸/۲۵ لیتر بر ثانیه تشکیل می شود. در زاویه ۹۰ درجه که دیواره های هادی سرریز نسبت به یکدیگر از رأس سرریز تقارن دارند. به نظر می رسد همگرایی جریان در این حالت نسبت به زاویه ۶۰ درجه دارای انسداد بیشتری می باشد و در نتیجه ارتفاع دمخروسی در آن از ۶۰ درجه بیشتر است. در این حالت از دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه تا دبی ۲۲/۶ لیتر بر ثانیه پدیده دمخروسی تشکیل می شود (شکل های ۹ و ۱۰). در حالی که در دبی ۳۴ لیتر

طرف پایه به علت اغتشاش زیاد جریان جدا شده و امواجی تشکیل می گردند که به سمت طرفین مسیر در امتداد پایین دست منحرف می شوند. اگر سرریز دارای چند دیواره باشد این دیواره ها باعث به وجود آمدن موج دمخروسی می شوند. این موج ها به شکل لوزی در امتداد تنداب پیش می روند و منجر به برخورد و تقاطع امواج جریان در طول تنداب می شوند. در این دبی ها ارتفاع پروفیل سطح آب به بیشینه مقدار خود می رسد. بر اساس مشاهدات نوع جریان در دبی های مختلف و زاویه های مختلف متفاوت بوده که به تفکیک دبی و زاویه های مختلف مقایسه خواهند شد. در زاویه ۶۰ درجه با افزایش دبی افزایش ارتفاع آب مشاهده می شود. یک جریان فوق بحرانی به شکل پیوسته روی بدنه سرریز جریان دارد که در این شرایط به دلیل همگرایی جریان، همان طور که انتظار می رفت، پدیده دمخروسی اتفاق افتاد؛ در جریان های فوق بحرانی هر مانع موجود در جریان آب باعث ایجاد یک موج سطحی شده که در عین حال که به سمت پایین دست حرکت می کند، در عرض جریان نیز پیش می رود. وجود دیواره های جداکننده نیز در مسیر جریان آب باعث انبساط جریان بعد از انتهای دیواره ها می گردد،



شکل ۶- پروفیل سطح آب بدون آب بعد در دبی های مختلف و زاویه ۶۰ درجه متقارن. بر ثانیه پروفیل جریان به صورت یکنواخت در می آید.

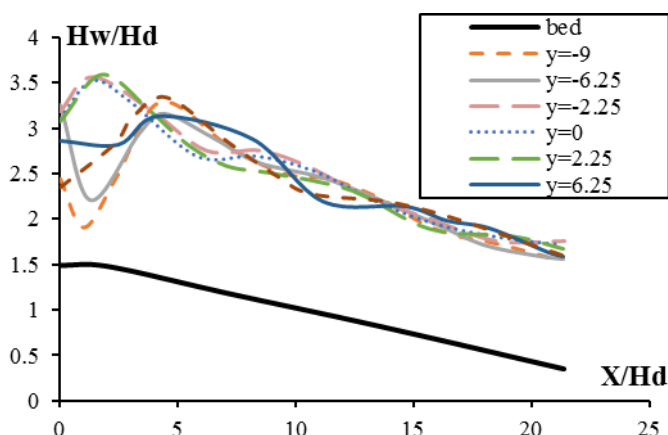


شکل ۵- تشکیل جریان های ثانویه در اطراف دمخروسی.

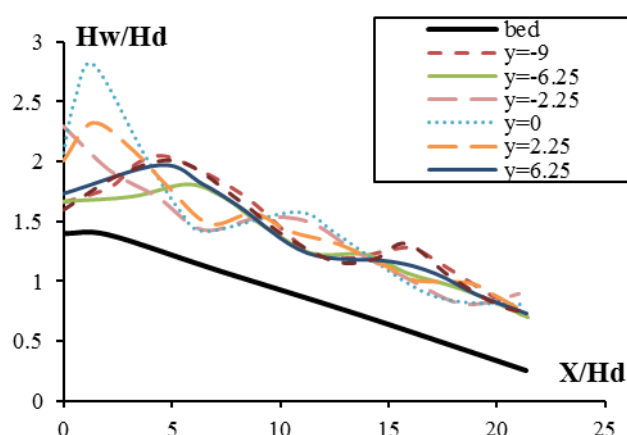


شکل ۴- پدیده دمخروسی.

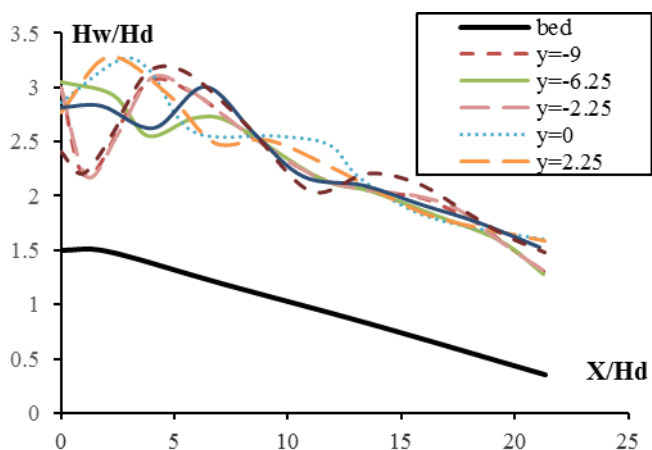
جریان منبسط شده از هر طرف پایه به علت اغتشاش زیاد



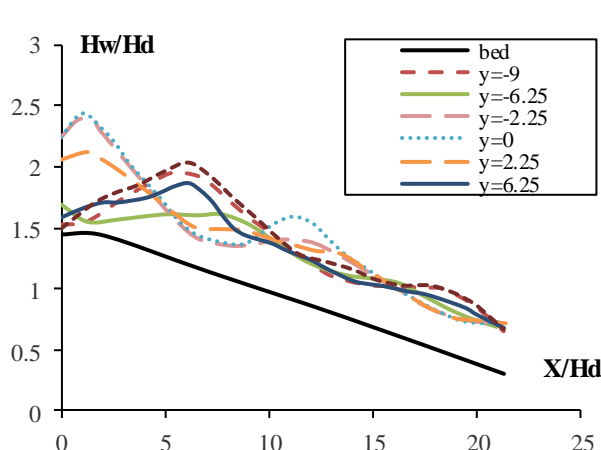
شکل ۱۰- پروفیل سطح آب در دبی ۲۲/۶ لیتر بر ثانیه در زاویه ۹۰ درجه متقارن.



شکل ۹- پروفیل سطح آب در دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه در زاویه ۹۰ درجه.



شکل ۸- پروفیل سطح آب در دبی ۲۸/۲۶ لیتر بر ثانیه و زاویه ۹۰ درجه.



شکل ۷- پروفیل سطح آب در دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه و زاویه ۶۰ درجه متقارن.

فرضی در وسط کانال رسم گردد که از رأس سرریز عبور نماید، این خط دمخروسی و بقیه پروفیل سطح آب را به دو حالت متشابه نزدیک به هم تقسیم می‌کند، اما در حالتی که دیواره‌ها نسبت به رأس سرریز تقارن ندارند این تشابه جریان نسبت به هم وجود ندارد به طوری که انباشت جریان در ابتدای کانال به سمت چپ (دیواره همراستا با دیواره‌های سرریز) کشیده شده و پرش دم-خروسی نامتقارن که به سمت یکی از دیواره‌ها تمایل دارد در ناحیه پنجه سرریز تشکیل می‌گردد که این پدیده می‌تواند باعث اختلاف پروفیل‌های فشار و سطح آب در مجاورت دیواره‌ها نسبت به یکدیگر باشد (شکل ۱۳). این نکته قابل توجه است که در دبی‌های بالاتر از ۱/۴۷ دبی

همچنین در ۶۰ درجه نامتقارن همان‌طور که در شکل-های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود یکی از دیواره‌ها موازی جریان عمود بر سرریز نصب شده و زاویه آن با دیواره کناری ۶۰ درجه است اما رأس زاویه با توجه به نامتقارن بودن آن به داخل کانال کشیده شده است و این تغییر رأس باعث تغییر در جهت نوع جریان در ابتدای کانال می‌شود، در زوایای نامتقارن در ابتدای کانال پدیده دمخروسی مشاهده گردید اما این پدیده بادم خروسی در حالت متقارن تفاوت دارد. این تفاوت از آنجاست که در حالت متقارن، پدیده دمخروسی در مرکز جریان روی کانال و سرریز تشکیل می‌شد به نحوی که اگر خطی

کانال در نظر گرفته شده است و تفاوت این خط در حالات مختلف بررسی شده است. ترسیم این نمودارها به صورت بی بعد است، همان طور که ملاحظه می شود در دبی ثابت به ازای ۳۰٪ دبی طراحی یا ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه در دو زاویه ۶۰ متقارن و نامتقارن عمق آب به علت تغییر شرایط ابتدای کانال و همچنین وضعیت دمخروسی، دچار تغییراتی شده است؛ که این تغییرات با افزایش دبی کاهش پیدا می کند تا جایی که سرریز مستغرق شده جریان در کانال یکنواخت می شود. شکل ۱۵ اختلاف عمق آب (D) روی خط مرکزی جریان در حالت بدون بعد را برای دو زاویه ۶۰ و ۹۰ در دو حالت متقارن و نامتقارن نشان می دهد افزایش ارتفاع پروفیل سطح آب ناشی از افزایش ارتفاع دمخروسی باعث افزایش ارتفاع معادل فشار در کف کانال (Hp) می شود بدین معنی که تغییر در شکل پدیده دمخروسی باعث اختلاف در ارتفاع معادل فشار پیزومتریک کف می گردد.

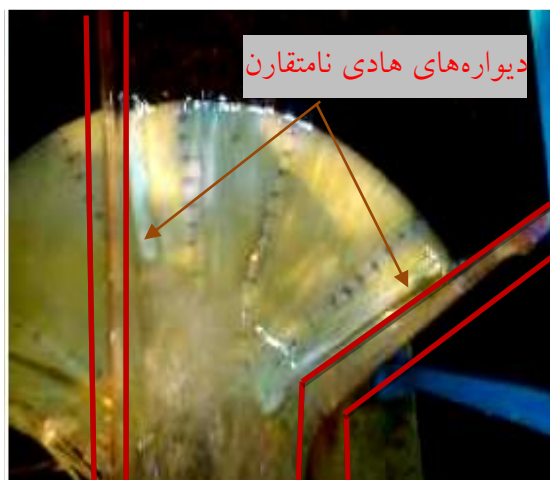
طراحی در زاویه ۹۰ درجه نامتقارن این پرش ثابت نبوده و در حال گذار بین پرش هیدرولیکی و دمخروسی در حال تغییر می باشد؛ این امر نیز چنین می تواند توضیح داده شود که با افزایش دبی و از طرفی انتقال قسمت بیشتری از جریان عبوری به سمت یک دیواره تمام جریان ورودی به سرریز نتوانسته وارد کانال پایین دست شده و مقداری از آن به سمت پنجه پس زده می شود؛ این روند ادامه می یابد تا هنگامی که به علت انباشتگی جریان در پنجه انسداد به وجود آمده و این افزایش انرژی ناشی از انباشتگی جریان طی یک پرش هیدرولیکی مستهلک شده و کل جریان اضافی از دهانه کانال به سمت پایین دست خارج می شود و پس از آن دومرتبه جریان بر روی سرریز فوق بحرانی و پدیده دمخروسی تشکیل می گردد، به عنوان نمونه در شکل ۱۴ پروفیل سطح آب بی بعد شده با بارآبی طراحی در دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه در زاویه ۶۰ درجه نامتقارن آورده شده است. برای بررسی اختلاف بین زوایای ۶۰ درجه و ۹۰ درجه در حالت متقارن و نامتقارن عمق خط مرکزی جریان در

پروفیل‌های فشار و عمق آب در زوایای مختلف در ۳ نقطه ابتدا، میانه و انتهای کانال پایین‌دست در جدول ۱ ارائه گردیده است. بالاترین مقدار در بین تمام زاویه‌ها برای هر دبی به عنوان واحد کامل (۱۰۰٪) در نظر گرفته

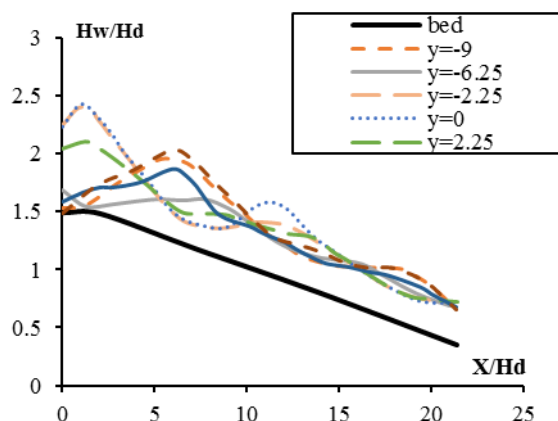
برای فهم بهتر مطلب فشار معادل کف کانال در دو دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه و ۲۸/۳ لیتر بر ثانیه در دو حالت متقارن و نامتقارن برای یک خط جریان ترسیم شده است، ذکر این نکته الزامی است که با افزایش دبی، همگرایی در



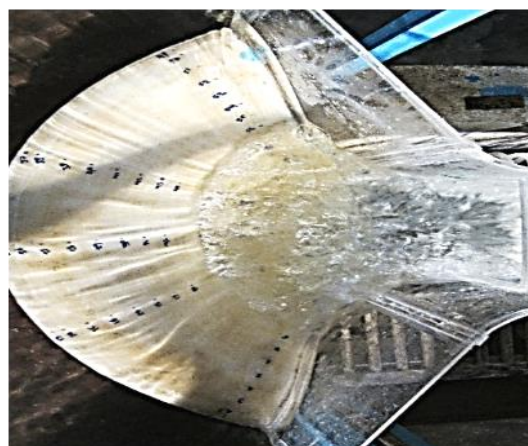
شکل ۱۲- تصویر تشکیل ایجاد نامتقارن.



شکل ۱۱- تصویر زاویه ۶۰ نامتقارن.



شکل ۱۴- پروفیل سطح آب بدون بعد در دبی ۵/۶۵ در زاویه ۶۰ نامتقارن.



شکل ۱۳- پدیده پرش هیدرولیکی در پنجه سرریز.

شد؛ به‌عنوان مثال برای پروفیل عمق در دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه زاویه ۹۰ درجه متقارن بالاترین نسبت عمق با مقدار $H/Hd = 1/4$ را دارا بود که این مقدار معادل ۱۰۰٪ منظور و سایر مقادیر در مقایسه با آن محاسبه

نمودارها به علت از بین رفتن پدیده دم‌خروسی باعث یکنواختی جریان و در نتیجه یکنواخت شدن فشار کف می‌شود (شکل‌های ۱۶ و ۱۷). برای درک بهتر تغییرات پارامترهای هیدرولیکی به ازای زوایای مختلف نسبت‌های

نتیجه گیری کلی

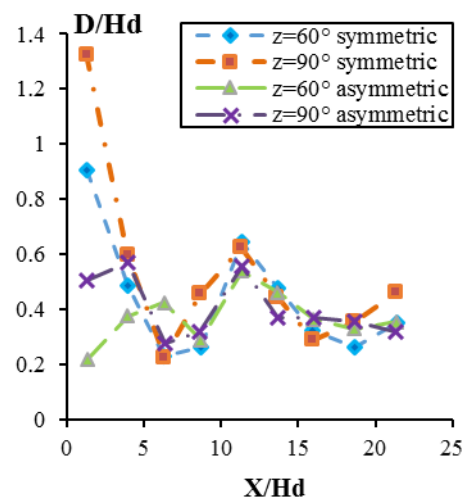
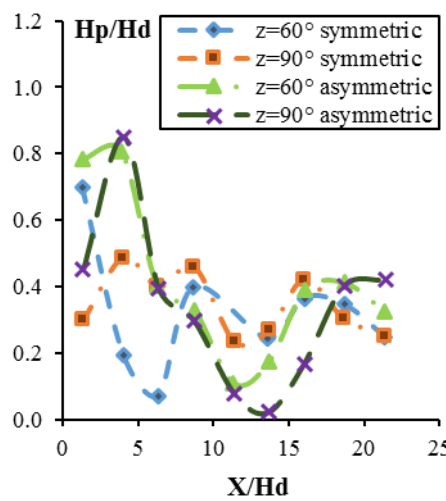
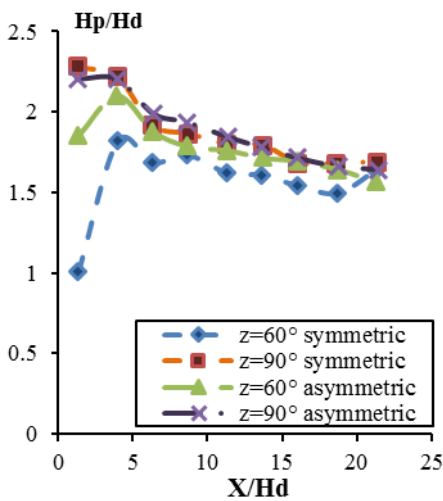
در پژوهش حاضر عملکرد هیدرولیکی کانال پایین- دست سرریز با نیمرخ اوجی و قوس محوری به منظور بررسی پروفیل سطح آب، فشار استاتیکی و به طور خاص نتایج مربوط به عملکرد جریان تحت اثر تقارن دیواره های هادی سرریز، مورد بررسی قرار گرفت؛ نتایج حاصل از بررسی پروفیل سطح آب نشان داد:

- در زاویه ۶۰ درجه متقارن برای دبی های ۳۰% تا

زاویه جریان مستغرق شده و یکنواخت می شود.

- در زاویه ۹۰ درجه متقارن در دبی معادل ۳۰% دبی طراحی یک جریان فوق بحرانی به شکل پدیده دمخروسی در سرریز اتفاق افتاد. با افزایش دبی تا ۱۱۸% دبی طراحی جریان فوق بحرانی به همراه پرش هیدرولیکی برای این زاویه اتفاق می افتد و با افزایش دبی تا ۱۷۷% دبی طراحی پروفیل جریان یکنواخت می گردد.

- در زوایای نامتقارن در دبی های معادل ۳۰% تا ۱۱۸%



شکل ۱۷- اختلاف فشار در دبی ۲۸/۲۵ لیتر بر ثانیه در زوایای مختلف.

شکل ۱۶- اختلاف فشار در دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه در زوایای مختلف.

شکل ۱۵- عمق بی بعد شده با دبی طراحی در دبی ۵/۶۵ لیتر بر ثانیه.

جدول ۱- نسبت پارامترهای فشار استاتیکی و عمق نسبت به هد طراحی به درصد در ابتدا، میانه و انتهای کانال

q(L/s)	(D/H _d)%				(H _p /H _d)%				
	X/H _d	۶۰ متقارن	۶۰ نامتقارن	۹۰ متقارن	۹۰ نامتقارن	۶۰ متقارن	۶۰ نامتقارن	۹۰ متقارن	۹۰ نامتقارن
۵/۶۵	۱/۳	۶۴/۴	۱۵/۶	۹۴/۷	۳۶/۲	۸۲	۳۸	۹۲/۲	۵۳/۱
	۱۱/۴	۴۶	۳۸/۶	۴۴/۷	۳۹/۸	۲۸/۸	۳۰/۲	۱۲/۹	۳۹/۱
	۱۸/۷	۱۸/۶	۲۳/۶	۲۵/۴	۲۵/۴	۲۹/۱	۳۸/۹	۴۸/۵	۴۷/۲
۲۸/۲۵	۱/۳	۶۲	۷۸/۵	۷۸/۵	۸۰/۷	۴۴/۲	۸۱/۲	۱۰۰	۹۶/۹
	۱۱/۴	۵۸/۲	۵۴/۶	۵۷/۶	۵۷/۳	۷۱/۲	۷۷/۲	۷۸/۹	۸۰/۹
	۱۸/۷	۴۸/۴	۵۰/۸	۴۹/۳	۵۰/۸	۶۵/۷	۷۲	۷۳/۸	۷۲/۹

جریان به شکل دمخروسی در ابتدا کانال ظاهر می شود. در دبی ۱۴۷% معادل دبی طراحی برای زاویه ۶۰ درجه

۱۴۷% دبی طراحی جریان فوق بحرانی به شکل پدیده دمخروسی مشاهده می شود و برای دبی بالاتر در این

روند آن بعد از دم‌خروسی یکنواخت‌تر می‌شود. تأثیر دیواره‌ها در حالت نامتقارن در فشار کف کانال به‌گونه‌ای است که دیواره سمت راست نزدیک‌تر به جریان دم‌خروسی در مقایسه با بقیه خطوط ارتفاع معادل فشار بیشتری برخوردار هستند.

- همچنین توصیه می‌شود در تحقیقات آینده پدیده دم‌خروسی که باعث ایجاد فشارهای دینامیکی در بستر کانال پایین دست می‌گردد به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته و نکات مرتبط با آن نیز در طراحی این نوع سازه‌های هیدرولیکی لحاظ گردد.

نامتقارن این پدیده کماکان ادامه دارد اما برای زاویه ۹۰ درجه نامتقارن انسداد در ابتدای کانال ایجاد شده و پدیده دم‌خروسی به پرش هیدرولیکی تغییر می‌کند.

- نتایج حاصل از بررسی فشار استاتیکی بیانگر تغییرات پروفیل فشار به‌ازای زاویه‌های همگرایی متفاوت می‌باشد:

- در زاویه‌های متقارن با توجه به این‌که پدیده دم‌خروسی در مرکز کانال اتفاق می‌افتد محور مرکزی ارتفاع معادل فشار بیشتری را نمایش می‌دهد که این ارتفاع به‌مرور در طول کانال مستهلک می‌شود همچنین در این زاویه‌ها با افزایش دبی فشار افزایش می‌یابد اما

منابع مورد استفاده

- Chatila J and Tabbara M, 2004. Computational modeling of flow over an ogee spillway. *Computers and Structures* 82:1805-1812.
- Dargahi B, 2006. Experimental Study and 3D numerical simulations for a free-overflow spillway. *Journal of Hydraulic Engineering (ASCE)* 132(9):899-907.
- Ho D, Boyes k, Donohoo S.H and Cooper B, 2003. Numerical flow analysis for spilways. 43rd Australian National Committee on Large Dams Incorporated Conference, Hobart, Tasmania.
- Hunt S. L, Kadavy K. C, Abt S. R and Temple D. M, 2008. Impact of converging chute walls for roller compacted concrete stepped spillways. *Journal of Hydraulic Engineering (ASCE)* 134(7):1000-1003.
- Johnson M.C and Savage B.M, 2006. Physical and numerical comparison of flow over ogee spillway in the presence of tail water. *Journal of Hydraulic Engineering (ASCE)* 132(12):1353-1357.
- 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, Urbana-Champaign, Ecuador.
- Margeirsson B, 2007. Computational Modeling of Flow over a Spillway in Vatnsfellsstífla Dam in Iceland. Master of Science Thesis. Department of Applied Mechanics Division of Fluid Dynamics, Chalmers University of technology. Gothenburg, Sweden.
- 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.
- Swamee P. K, Shekhar C. H and Talib M, 2011. Discharge characteristics of skew weirs. *Journal of Hydraulic Research* 49(6):818-820.
- Tanner W. F. 1982. Rooster tail. *Beaches and Coastal Geology*. Part of the Series Encyclopedia of Earth Science. Available at: <http://link.springer.com>. 702-703.
- United states department of the Interior Brureau of reclamation. 1980. *Hydraulic Thechniques*. U.S. Government printing office, Denver.