

بررسی آزمایشگاهی اثر تجمع اجسام شناور بر مشخصات هیدرولیکی سرریز تاج دندانه‌ای تحت سیستم آزمایش تجمعی

سعید حبیبی^۱ و بابک لشکرآرا^{۲*}

۱ و ۲- به ترتیب: دانشجوی کارشناسی ارشد؛ و استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۸/۳۰

چکیده

در این تحقیق به بررسی میزان تأثیر تجمع اجسام شناور موجود در جریان‌های آوارهای در دهانه سرریز بر مشخصات هیدرولیکی سرریز تاج دندانه‌ای پرداخته شده است. برای این منظور تلاش شد تا با استفاده از تجهیزات آزمایشگاهی و دسته‌بندی‌های مناسب با استفاده از چوب‌هایی با ضرایب قدکشیدگی مختلف، میزان انسدادهای متفاوتی در دهانه ورودی سرریز تاج دندانه‌ای ایجاد شود. برای بررسی اثر شکل دهانه ورودی سرریزهای تاج دندانه‌ای بر شرایط هیدرولیکی جریان ناشی از انسداد ایجاد شده، سناریوهای مختلفی با تغییر در میزان شیب کلیدهای ورودی به خروجی Z و تعداد سیکل n سرریزهای تاج دندانه‌ای تدوین شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که صرف نظر از شکل دهانه ورودی به آبگیر قائم، افزایش ضریب قدکشیدگی منجر به کاهش میزان انسداد در دهانه سرریز می‌شود و به تبع آن ضریب تخلیه جریان افزایش و بار آبی بالادست سرریز کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، با تغییر ضریب قدکشیدگی از ۱۵ به ۲۰ و از ۱۵ به ۲۵ به‌طور متوسط به ترتیب ۲ و ۸/۰۲ و ۱۴/۴۴ درصد ضریب تخلیه جریان افزایش خواهد یافت. نتایج بررسی‌ها همچنین نشان می‌دهد که شیب کلید ورودی به خروجی Z و تعداد سیکل n سرریز تاج دندانه‌ای بر میزان انسداد ایجاد شده در دهانه سرریز و به تبع آن بر مشخصات هیدرولیکی جریان تأثیر می‌گذارد به گونه‌ای که بیشترین میزان انسداد و افت ضریب تخلیه متعلق به Z معادل ۱/۵ به ترتیب در سرریزهایی با تعداد سیکل ۸، ۶، ۴ و ۲ مشاهده شده است.

واژه‌های کلیدی

انسداد، جریان آواره‌ای، ضریب تخلیه، ضریب قدکشیدگی

مقدمه

بارندگی‌های شدید، در اثر فرسایش یا لغزش سواحل، گندها و شاخه‌هایی به نام آواره‌های شناور وارد جریان رودخانه می‌شوند و بر قدرت سیلاب می‌افزایند. اگر سازه‌های منحرف‌کننده و جمع‌آوری‌کننده مانند بوم‌های شناور و شبکه‌های آشغالگیر وجود نداشته باشند، اجسام وارد شده به مسیر جریان رودخانه همراه جریان به نواحی پایین دست حمل می‌شوند. در نواحی پایین دست حوزه‌های آبخیز، زیرساخت‌ها و سازه‌های هیدرولیکی موجود در طول رودخانه انتقال اجسام و چوب‌های شناور را محدود می‌کنند و باعث تجمع آنها می‌گردند؛ در نواحی شهری،

آبگیرهای قائم از سازه‌های هیدرولیکی هستند که از آنها برای آبگیری مستقیم از رودخانه‌ها یا مخازن استفاده می‌شود. آبگیرهای قائم سازه‌هایی اقتصادی هستند و اگر طراحی آنها صحیح و اصولی باشد بهره‌برداری از آنها با مشکلات کمتری همراه است. از این جهت که این سازه‌ها در نزدیکی سطح آب کار گذاشته می‌شوند، از ورود رسوبات درشت‌دانه به درون تاسیسات هیدرولیکتریکی جلوگیری می‌شود. ولی تجمع اجسام شناور، از جمله چوب، یکی از مشکلات عمده آبگیرهای قائم است. هنگام

و در عملکرد آن اختلال ایجاد می‌کند. ممکن است به تجهیزات هیدروالکتریکی موجود در مسیر جریان نیز آسیب زند. شکل ۱ نمایشگر نمونه‌ای از تجمع اجسام شناور در کنار سرریز کنگره‌ای سد برازوس^۱ تکزاس مسدود شدن آن در هنگام وقوع سیلاب است (Crockston, 2010).

افزوده شدن زباله‌های شهری این مشکلات را تشدید خواهد کرد. شاخه‌ها و تنه‌های درختان که در مواقع سیلابی به جریان آب اضافه می‌شوند می‌توانند در کنار سازه‌های هیدرولیکی و ورودی‌های سرریزها جمع شوند. عبور اجسام شناور از دهانه ورودی آبیگر مجرای انتقال آب را مسدود می‌کند که موجب کاهش ظرفیت تخلیه می‌شود



شکل ۱- تجمع اجسام شناور روی سرریز کنگره‌ای سد برازوس تکزاس

هیدرولیکی موجود در مسیر جریان، می‌تواند باعث کاهش سطح مقطع جریان عبوری و گذر جریان از روی سازه شود و مشکلات جدی ایجاد کند. همچنین، تجمع آواره‌ها در نقاطی از سازه‌های هیدرولیکی که ممکن است این وضعیت در طراحی آن سازه‌ها در نظر گرفته نشده باشد، می‌تواند آبشستگی محلی موجود در آنها را تشدید کند (Zevenbergen *et al.*, 2006). این محققان با بررسی اجسام و چوب‌های شناور موجود در محیط رودخانه می‌گویند امکان اینکه این چوب‌های شناور با ساختارهای مهندسی موجود در محیط رودخانه برخورد کنند وجود دارد و بنابراین تأثیر این اجسام باید از جنبه‌های مهم طراحی سازه‌ها باشد و باید تأثیر اولیه و احتمال تجمع اجسام شناور، هر دو، را در طراحی سازه‌های هیدرولیکی در نظر گرفت. علاوه بر این، تجمع اجسام شناور در کنار سازه‌ها یک جریان اجباری را به سمت بستر رودخانه شکل خواهد داد که باعث افزایش آبشستگی می‌گردد

درباره انسداد ایجاد شده تحت تأثیر اجسام شناور روی سرریزها تا کنون مطالعات اندک بوده است. اجسام شناور می‌توانند شامل تنه، شاخ و برگ درختان، و زباله‌های شهری باشند. با توجه به اینکه حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های کوهستانی اغلب جنگلی هستند، وجود جریان‌های سیلابی ناشی از باران‌های شدید می‌تواند باعث لغزش و فرسایش در اطراف نواحی رودخانه شود؛ این دو پدیده می‌تواند باعث ورود درختان و تخته پاره‌های شناور به مسیر رودخانه گردد. اندازه و شکل درختان با گرادیان رودخانه، دبی رودخانه، و اندازه و تعداد تخته سنگ‌های موجود در بستر رودخانه مرتبط است.

در رودخانه‌های سنگلاخی با شیب تند، درختان با برخورد به بستر رودخانه به سرعت می‌شکنند و به قطعات کوچکتر تبدیل می‌شوند (Pfister *et al.*, 2013a). ورود اجسام و درختان شناور به جریان سیلابی علاوه بر بالابردن قدرت جریان و ارتفاع آب در بالادست سازه‌های

1- Brazos Dam

تا تاج سرریز هیچ‌گونه تجمعی در زیر پیش‌آمدگی سرریز رخ نمی‌دهد. هنگامی که هد روی سرریز کمتر از $0.4P$ باشد، چوب‌های شناور روی سرریز جمع می‌شوند و برای هدهای بیشتر از این مقدار چوب‌ها به سمت پایین دست شسته خواهند شد و نیز اینکه برای $H/P < 0.5$ ، ظرفیت تخلیه در حالت انسداد تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (H بار آبی موجود روی سرریز و P ارتفاع سرریز است). لگیئر (Laugier, 2007) به بررسی سد گلورز در مواقع سیلابی با چوب‌های شناور به طول ۴ تا ۱۰ متر پرداخت و بیان کرد که در هنگام وقوع سیلاب، در ساعات اولیه بیشتر اجسام شناور از طریق سرریزهای دریچه‌ای تخلیه می‌شوند، و پس از گذشت مدت زمانی از وقوع سیلاب، سرریز کلید پیانویی موجود شروع به کار می‌کند. وی با مشاهدات خود روی سد می‌گوید انسداد سرریز کلید پیانویی تنها بخش کوچکی از طول دیوار تاج را تحت تأثیر قرار می‌دهد (در حدود ۵ تا ۱۰ درصد) و متناظر با آن عرض دهانه خروجی سرریز بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

فیشر و همکاران (Pfister et al., 2013b) نیز آواره‌های شناور را در شرایط سرعت نزدیک‌شونده صفر به صورت آزمایشگاهی بررسی و مشخص کردند که قطر کنده‌ها (D) و بار آبی (H)، بیشتر از طول کنده‌ها (L) بر میزان انسداد تأثیر می‌گذارند؛ بر اساس یافته‌های این محققان، پارامتر انسدادکننده‌ها در حالتی که $D/H > 1$ باشد به سمت یک میل می‌نماید و وقتی این نسبت کمتر از $0/3$ باشد میزان انسداد به سمت صفر میل می‌کند. در بار آبی پایین، تجمع واریزه‌ها بار آبی را تا حدود ۷۰ درصد افزایش می‌دهد، ولی در هدهای بالا بار آبی تا حدود ۲۰ درصد افزایش نشان می‌دهد. سوگره^۱ با بررسی سرریز اضطراری سد لازییر^۲ فرانسه مشاهده کرد که جریان‌های آواره‌ای همزمان با تولید سرعت آستانه بالا توسط ورودی‌های سرریز عبور می‌کنند؛ حجم جریان‌های آواره‌ای تجمع‌یافته

(Saunders & Oppenheimer, 1993). از سازه‌های هیدرولیکی مهم موجود در مسیر جریان، سرریزها هستند که عبور جریان حاوی کُنده و شاخه درختان از روی آنها باعث انسداد تمام یا قسمتی از مقطع عبور جریان می‌شود و با کاستن از ظرفیت گذردهی جریان سرریز، عمق بالادست سرریز را افزایش می‌دهد. میزان انسداد مقطع بالادست سرریزها به پارامترهای مختلف از جمله اندازه کنده‌ها و شاخه‌ها و هندسه سرریز بستگی دارد (Pfister et al., 2013b).

از سرریزهای پرکاربرد که در چند دهه گذشته استفاده از آنها به جای سرریزهای خطی معمول، به دلیل دارا بودن ظرفیت تخلیه بالا، افزایش یافته است سرریزهای غیرخطی هستند. سرریزهای غیرخطی مانند سرریز کلید پیانویی و تاج دندان‌های که طرح آنها به تازگی ارائه شده است، به علت عملکرد هیدرولیکی بالا باعث کاهش عمق جریان روی سرریز می‌شوند. این امر می‌تواند موجب افزایش پتانسیل انسداد در این نوع سرریزها شود و عملکرد آنها را به شدت کاهش دهد زیرا این عمق کم باعث کاهش مومنتم جریان در هر واحد از طول سرریز برای عبور دادن آواره‌ها می‌شود. علاوه بر این، عرض کم کلیدهای ورودی و خروجی در این گونه سرریزها میزان انسداد را تشدید می‌کند. بنابراین به علت اثر بالقوه واریزه‌های شناور بر ظرفیت تخلیه سرریز غیرخطی، در سرریز سدهای واقع در حوضه‌هایی با پوشش جنگلی، انسداد ناشی از آواره‌های چوبی را باید به عنوان یک پارامتر مهم در طراحی در نظر گرفت (Leite-Rebiero et al., 2012).

برای اولین بار اوامانه و لمپرییر (Ouamane & Lempérière, 2006) در مطالعات خود روی سرریز کلید پیانویی به طور جزئی به انسداد ایجاد شده به واسطه چوب‌های شناور پرداختند. این محققان در آزمایش‌های خود مشاهده کردند که در هنگام افزایش سطح آب از پایه

همچنین برای $D/H > 1$ یا $L/H > 15$ احتمال انسداد یک است. این محققان نشان دادند که عملکرد مدل سرریز کلید پیلانویی دارای دیواره جان‌پناه و دماغه در ارتباط با میزان عبور اجسام شناور، نسبت به دو مدل سرریز با دیواره جان‌پناه و مدل سرریز ساده، بهتر است به طوری که میزان انسداد در این سرریز نسبت به سرریزهای با دیواره جان‌پناه و مدل سرریز ساده به طور متوسط در تمامی نسبت‌های (D_a/H) به ترتیب ۶ و ۱۵/۶ درصد کمتر است. لشکرآرا و شیخی (Lashkar-Ara & Sheikhi, 2017) با اجرای آزمایش‌هایی روی آبگیرهای مدور قائم با ورودی تاج دندانهای تحت شرایط جریان غیر چرخشی در مخزن، اثر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی این دسته از سرریزها را بررسی کردند و نشان دادند که ضریب تخلیه جریان در سرریزهای تاج دندانهای با شیب کلیدها ۱:۱/۵ (قائم : افق)، نسبت به سرریزهای با شیب ۱:۱ و ۱:۰/۵، بالاتر است. نتایج این تحقیق همچنین حاکی از آن بود که سرریزهای با تعداد سیکل بالاتر در نسبت هد به ارتفاع کم، نسبت به سرریزهای با تعداد سیکل پایین‌تر، عملکرد بهتری دارند که دلیل اصلی آن نسبت طول تاج بیشتر این سرریز نسبت به سرریزهای دیگر است که باعث کاهش هد کل روی سرریز و افزایش ضریب دبی جریان می‌گردد. مقایسه نتایج خصوصیات هیدرولیکی این دسته از سرریزها با سرریز مدور قائم نشان‌دهنده برتری ضریب تخلیه این سرریزها در مقایسه با آبگیر مدور قائم است. روحانی‌پور (Rouhanipour, 2016) با بررسی اثر زاویه جریان تقرب و قدرت گرداب آزاد بر ضریب دبی جریان سرریز تاج‌دندانهای در زاویه‌های جریان تقرب ۰، ۳۰ و ۶۰ درجه، نشان داد که ضریب دبی سرریزهای تاج‌دندانهای با افزایش زاویه جریان تقرب، روندی کاهشی دارند و میزان ضریب دبی در سرریزهای با تعداد سیکل و ارتفاع یکسان در زاویه صفر درجه بیشتر از مقدار آن به ترتیب در زاویه‌های ۳۰ و ۶۰ درجه است. وی می‌گوید در تمامی

با افزایش دبی کاهش می‌یابد؛ جریان‌های آواره‌ای در هدهای بالا متراکم می‌شوند و در هدهای پایین از تراکم آنها کاسته می‌شود و هد نسبی برای دوره بازگشت صدساله با هد بدون جریان آواره‌ای حدود ۱ متر تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (Pfister *et al.*, 2013b).

منصوری و احدیان (Mansouri & Ahadian, 2016) با بررسی انسداد سرریزهای کلید پیلانویی در جریان‌های آواره‌ای با سیستم آزمایش انفرادی و جمعی می‌گویند هر دو پارامتر D (قطر آواره‌ها) و H (بار آبی) بر میزان پارامتر انسداد تأثیر می‌گذارند و با افزایش قطر چوب‌ها، پارامتر انسداد در آزمایش‌های انفرادی بیشتر و با کاهش آنها کمتر می‌شود (در آزمایش انفرادی، تعدادی از اجسام شناور با توجه به نوع آنها انتخاب و به طور جداگانه و به صورت تک‌تک در بالادست مخزن به جریان اضافه می‌شود). در واقع وقتی $D/H > 1$ باشد پارامتر انسداد حدوداً یک و برای $D/H < 0.3$ پارامتر انسداد تقریباً به صفر می‌رسد. با افزایش مقدار H/H_r انسداد کاهش و با کاهش H/H_r میزان انسداد افزایش می‌یابد. وجود دیواره‌ها و وارد کردن کنده‌ها و شاخه‌ها به مقدار ۱/۵ برابر توانسته مقدار H (بار آبی اولیه) را نسبت به H_r (بار آبی ثانویه) در هر دو سرریز افزایش دهد.

پشته‌شیرانی و همکاران (Poshteh-Shirani *et al.*, 2017) با بررسی تأثیر دماغه و دیواره جان‌پناه سرریز کلید پیلانویی بر انسداد اجسام شناور دریافتند که هنگامی که عمق آب روی سرریز افزایش می‌یابد، احتمال انسداد نمونه‌ها کاهش خواهد یافت و در عوض با افزایش قطر یا طول نمونه‌های چوب این احتمال افزایش می‌یابد. به طور کلی، زمانی که نسبت D/H برابر با یک شود نمونه‌ها شروع به حرکت کردن از روی سرریزها می‌کنند، ولی درصد عبوری آنها قابل توجه نیست و کمترین احتمال انسداد در نسبت $D/H < 0.3$ است. میزان پارامتر انسداد زمانی صفر است که مقدار $D/H < 0.2$ یا $L/H < 5$ باشد و

و شیب‌های مختلف کلیدهای ورودی و خروجی در مقایسه با سرریز نیلوفری است. برای این منظور سرریزهای مختلفی تحت شیب کلید ورودی به خروجی $0/5:1$ ، $1:1$ و $1/5:1$ ساخته شد. در هر یک از شیب کلیدهای یاد شده، اثر طول تاج نیز ارزیابی و برای این منظور سرریزهایی با تعداد سیکل ۲، ۴، ۶ و ۸ نیز ساخته شد. بنابراین، در مجموع ۱۲ مدل سرریز تاج دندانهای ساخته شد. برای مقایسه نتایج با آنچه از سرریز نیلوفری در دسترس هست، دو سرریز نیلوفری نیز با ارتفاع‌های مختلف ساخته شد. این نوع سرریزها از ترکیب چند کلید ورودی و خروجی تشکیل شده است که هر یک از این کلیدها به نوبه خود در شرایط عادی ظرفیت تخلیه و خاصیت گرداب‌شکنی سرریز را افزایش می‌دهد و در هنگام مواجهه با اجسام شناور، پتانسیل تله‌اندازی سرریز را افزایش می‌دهد.

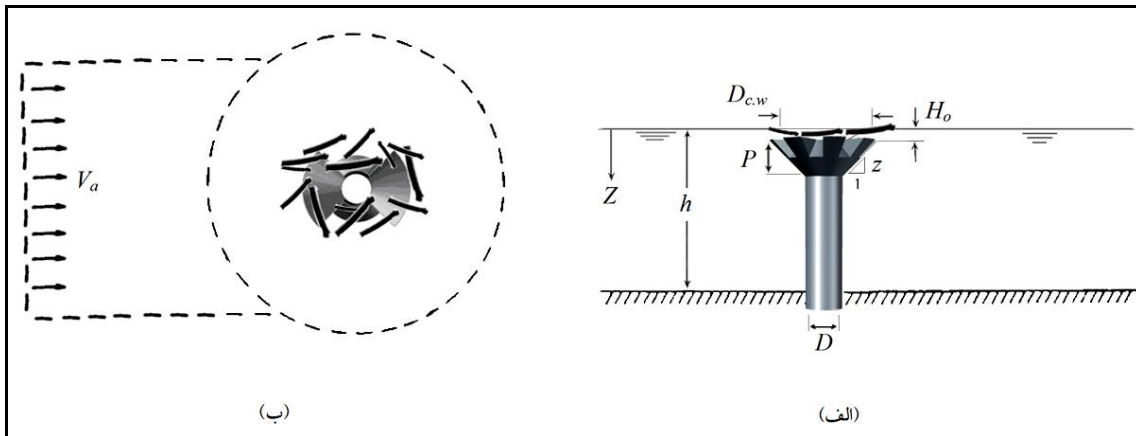
همه آزمایش‌های این پژوهش روی یک فلوم به طول شش، ارتفاع یک، و عرض یک متر در آزمایشگاه تحقیقات هیدرولیک و مهندسی رودخانه در دانشگاه صنعتی جندی شاپور به اجرا درآمد. برای اندازه‌گیری دبی ورودی به مخزن از یک دستگاه دبی‌سنج الکترومغناطیس با دقت مضاعف ساخت شرکت ایران‌مدار استفاده شد که در مسیر خط لوله انتقال آب از سیستم پمپاژ به مخزن بالادست قرار می‌گیرد. همچنین، برای اندازه‌گیری ارتفاع آب در داخل مخزن و روی سرریز، از یک عمق‌سنج با دقت $0/1$ میلی‌متر استفاده شد که به دلیل تلاطم جریان آب در داخل مخزن بار آبی موجود با دقت $0/5$ میلی‌متر اندازه‌گیری گردید. شکل ۲ نمایی کلی از فلوم آزمایشگاهی، سرریزها، و موقعیت نصب آنها را نشان می‌دهد.

زاویه‌های 0 ، 30 و 60 درجه و تمام ارتفاع‌های نسبی P/D معادل $0/5$ ، 1 و $1/5$ ، در محدوده جریان آزاد قبل از انسداد کلیدها سرریزهای ۸ سیکل عملکرد بهتری نسبت به سرریزهای ۶، ۴ و ۲ سیکل دارند، ولی با افزایش دبی و هد روی سرریز، سرریزهای دو سیکل دارای عملکرد بهتری هستند. از آنجاکه سرریز تاج دندانهای جدید است بررسی مسائل هیدرولیکی آن اندک بوده است.

منابع کتابخانه‌ای نشان می‌دهد که موضوع انسداد در اثر جریان آوارهای روی سرریز تاج دندانهای تا کنون بررسی نشده است. مطالعات لشکرآرا و شیخی (Lashkar- (Ara & Sheikhi, 2017) و روحانی‌پور (Rouhanipour, 2016) به ترتیب درباره هیدرولیک جریان‌های غیر چرخشی و چرخشی روی سرریزهای تاج دندانهای نشان داد که در هدهای بالا سرریزهای تاج دندانهای از لحاظ میزان گذردهی جریان و خاصیت گرداب‌شکنی عملکرد بهتری نسبت به سایر سرریزهای مشابه دارند، و از آنجایی که انسداد سرریز سدهای واقع در حوضه‌هایی با پوشش جنگلی بر اثر جریان آوارهای در مواقع سیلابی و در دبی‌های بالا روی می‌دهد و باعث اختلال در عملکرد مناسب سرریزها می‌شوند، بررسی میزان تأثیر انسداد بر مشخصات هیدرولیکی این دسته از سرریزها ضروری به نظر می‌رسد. از این‌رو در تحقیق حاضر به بررسی میزان تأثیر انسداد سرریز تاج دندانهای بر ضریب تخلیه سرریز پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

هدف از تحقیق حاضر بررسی آزمایشگاهی نحوه تأثیر تجمع چوب‌های شناور در دهانه ورودی و خروجی سرریز تاج دندانهای بر مشخصات هیدرولیکی جریان تحت سیکل



شکل ۲- سیستم آزمایشگاهی و پارامترهای مورد استفاده

(الف) نمای جانبی و (ب) نمای فوقانی وضعیت جریان نزدیک‌شونده و انسداد ایجاد شده در سرریز تاج دندانه‌ای

آنالیز ابعادی

از آنجا که مقدار شیب کلید سرریز با ارتفاع سرریز P رابطه مستقیم دارد، درج همه پارامترها غیر ضروری است و فقط از پارامتر ارتفاع سرریز (P) در فرمول‌بندی پژوهش استفاده شده است، در نتیجه، تابع کلی زیر را می‌توان بین پارامترهای مؤثر در این تحقیق نوشت (رابطه ۱):

$$f(\rho, \mu, \sigma, h_o, h_d, v, g, Q, L_d, D_d, \pi, D_i, D_{cw}, L, P) = 0 \quad (1)$$

پس از تعیین پارامترهای مؤثر و با استفاده از تئوری باکینگهام می‌توان معادله حاکم بر فضای تحقیق را به‌منظور بررسی میزان انسداد در سرریز مدور قائم با ورودی تاج دندانه‌ای به‌صورت رابطه ۲ نشان داد:

$$f\left(\frac{\rho v h_d}{\mu}, \frac{\rho v^2 l}{\sigma}, \frac{v}{\sqrt{g h_d}}, \frac{Q}{l \sqrt{g h_d^3}}, \pi, \frac{L_d}{D_d}, \frac{D_{cw}}{D_i}, \frac{P}{l}, \frac{h_o}{h_d}\right) \quad (2)$$

با توجه به ثابت بودن نسبت D_i/D_{cw} در فضای تحقیق می‌توان از اثر آن در رابطه ۲ صرف‌نظر کرد. با توجه با اینکه پارامتر $\rho v h_d / \mu$ معرف عدد رینولدز، پارامتر $\rho v^2 l / \sigma$ معرف عدد وبر، پارامتر $v / \sqrt{g h_d}$ معرف عدد فرود و پارامتر $Q / l \sqrt{g h_d^3}$ معرف ضریب تخلیه عبوری از سرریز است. از آنجاکه اثر پارامتر ضریب قدکشیدگی

در این مرحله، به‌منظور شناسایی پارامترهای مؤثر بر میزان انسداد سرریزهای تاج دندانه‌ای، پارامترهای مؤثر بر فضای پژوهش دسته‌بندی شدند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این پارامترها را می‌توان از لحاظ خصوصیات سیال، خصوصیات جریان، و مشخصات هندسی سرریز و چوب‌های شناور به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

خصوصیات سیال: وزن مخصوص سیال ρ ، لزوجت سیال μ ، و کشش سطحی σ .

خصوصیات مربوط به جریان: عمق جریان در شرایط بدون آوار (هد اولیه) h_o ، افزایش هد بالادست سرریز بعد از انسداد (هد ثانویه) h_d ، سرعت نزدیک‌شونده به سرریز v ، شتاب ثقل g و دبی جریان Q .

خصوصیات هندسی آوار شناور: طول اجسام شناور L_d ، قطر اجسام شناور D_d و میزان انسداد π که به‌صورت نسبت تعداد چوب‌های مانده روی سرریز به کل چوب‌های اضافه شده، تعریف می‌شود.

خصوصیات هندسی سرریز: قطر شفت قائم D_i ، قطر خارجی سرریز تاج دندانه‌ای D_{cw} ، طول مؤثر سرریز L ، شیب کلید ورودی به خروجی z ، ارتفاع سرریز تاج دندانه‌ای P .

شده در دهانه آبگیر مؤثرند، پارامتری به‌عنوان ضریب قدکشیدگی (نسبت طول به قطر اجسام شناور) تعریف شد. با توجه به مطالعات صورت گرفته درباره نواحی پنج‌گانه رویشی کشور و برای دستیابی به اهداف تحقیق حاضر، سه ضریب قدکشیدگی مختلف ۱۵، ۲۰ و ۲۵ انتخاب گردید. ضرایب قدکشیدگی متفاوت برای مقیاس‌بندی طول و قطر شاخه‌ها استفاده شد، تا طیف گسترده‌ای از طول و قطرهای مختلف برای دستیابی به ابعاد مناسب انتخاب شوند و ارتباط موجود بین دبی جریان و اندازه چوب‌ها در شرایط آزمایشگاهی مطابق با شرایط طبیعی ایجاد شود. بدین‌منظور ۱۳ نوع چوب با طول و قطر مختلف انتخاب شد که در مجموع سه ضریب قدکشیدگی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ دارند؛ مشخصات آنها در جدول ۱ نشان داده شده است.

(L_d/D_d) و عدد فرود بر میزان ضریب تخلیه مشابه اثر پارامتر انسداد و هد نسبی است، از این‌رو، از اثر ضریب قدکشیدگی و عدد فرود جریان نیز صرف‌نظر می‌شود. بنابراین، رابطه ۲ به‌صورت رابطه ۳ بازنویسی می‌گردد:

$$CD_d = f(Re, We, \frac{h_o}{h_d}, \frac{P}{L}, \pi) \quad (3)$$

شرایط اثربخشی دیگر پارامترهای بدون بعد معروف موجود در رابطه ۳ پس از اجرای آزمایش‌ها بررسی می‌شود.

اجسام شناور

با در نظر گرفتن آنالیز ابعادی صورت گرفته و توجه به این نکته که طول و قطر اجسام شناور در انسداد ایجاد

جدول ۱- مشخصات نمونه چوب‌های مورد استفاده در پژوهش

نوع چوب	قطر نمونه (سانتی‌متر)	طول نمونه (سانتی‌متر)	ضریب قدکشیدگی
۱	۱/۷	۲۵	۱۵
۲	۱/۲۵	۲۵	۲۰
۳	۱	۲۵	۲۵
۴	۱/۴	۲۰	۱۵
۵	۱	۲۰	۲۰
۶	۰/۸	۲۰	۲۵
۷	۱	۱۵	۱۵
۸	۰/۷۵	۱۵	۲۰
۹	۰/۶	۱۵	۲۵
۱۰	۰/۷	۱۰	۱۵
۱۱	۰/۵	۱۰	۲۰
۱۲	۰/۴	۱۰	۲۵
۱۳	۰/۴	۵	۱۵

پس از تعیین طول و قطر مناسب برای چوب‌های شناور و جمع‌آوری تعداد مورد نیاز از هر ۱۳ نوع، برای هر یک از ضریب‌های قدکشیدگی، ۱۰ دسته‌بندی مختلف در نظر گرفته شد که برای نمونه، مشخصات دسته‌بندی در

ضریب قدکشیدگی ۲۰ در جداول ۲ ارائه شده است. شکل ۳ نشانگر چوب‌های جمع‌آوری شده بر اساس مشخصات موجود در جدول ۱ است. مطابق برنامه‌ریزی‌ها، این تحقیق بر مبنای آزمایش‌های تجمعی پایه‌گذاری شده است.

بلوکه شده روی سرریز شمردن و مشخصات جریان اعم از دبی و عمق آب روی سرریز ثبت می‌شود. آزمایش‌های تجمعی برای هر یک از ضریب‌های قدکشیدگی موجود و هر ۱۴ نوع سرریز ساخته شده با ارتفاع‌ها و سیکل‌های مختلف از دبی برابر با ۰/۵ لیتر بر ثانیه شروع و تا مرحله‌ای ادامه پیدا می‌کند که همه چوب‌های اضافه شده رد شوند (معمولا تا دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه). در این تحقیق در مجموع ۲۴۰۰ مرحله آزمایش صورت گرفته است که نتایج حاصل از آن در ادامه ذکر خواهد شد.

آزمایش‌های تجمعی بدین معناست که برای هر یک از ضرایب قدکشیدگی در دبی‌های مختلف و برای هر یک از سرریزها با توجه به دسته‌بندی‌ها، پس از ایجاد عمق آب مورد نظر روی سرریز هر ۱۰ دسته چوب با یک فاصله زمانی مشخص و به صورت متمادی در حدود ۱/۵ تا ۲ متر بالاتر از سرریز و به طور تصادفی رها گردید.

در هر مرحله از آزمایش بعد از انسداد نمونه‌ها در روی سرریز مدت زمانی صبر می‌شود تا اطمینان حاصل گردد که نمونه‌های انسداد یافته روی سرریز دیگر حرکت نمی‌کنند. در این مرحله تعداد چوب‌های عبور کرده و



شکل ۳- نمایی از ۱۳ نوع چوب جمع آوری شده در تحقیق حاضر

جدول ۲- دسته بندی برای ضریب قدکشیدگی ۲۰

شماره دسته	نوع چوب	تعداد در دسته	مجموع هر دسته			
			V (۱۰ ^{-۳} متر مکعب)			
			۱۱	۸	۵	۲
۱	۱	۱	۳	۴	۲	
۲	۱	۴	۴	۲	۱۱	
۳	۱	۳	۳	۲	۹	
۴	۱	۳	۵	۲	۱۱	
۵	۲	۵	۵	۳	۱۵	
۶	۲	۴	۴	۲	۱۲	
۷	۲	۳	۴	۲	۱۱	
۸	۱	۴	۴	۱	۱۰	
۹	۱	۳	۴	۲	۱۰	
۱۰	۲	۳	۴	۳	۱۲	

نتایج و بحث

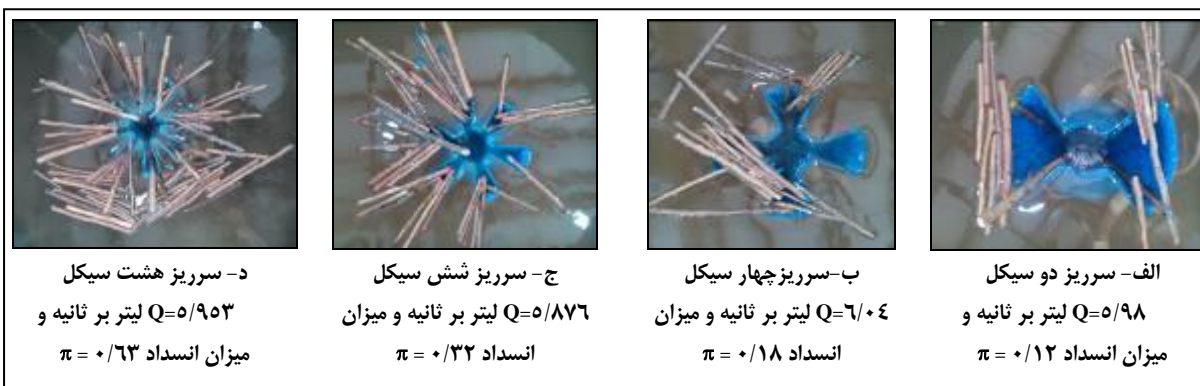
میزان انسداد روی سرریز می‌شود. همچنین، صرف‌نظر از شکل دهانه ورودی آبگیر، در شرایط یکسان افزایش ضریب قدکشیدگی منجر به کاهش تجمع اجسام شناور روی سرریز می‌گردد. با افزایش میزان انسداد و تجمع چوب‌های شناور در کنار کلیدهای ورودی و خروجی سرریز، از میزان توانایی سرریز برای انتقال جریان به پایین‌دست کاسته می‌شود و موجب افزایش بار آبی در بالادست سرریز و کاهش ظرفیت تخلیه می‌گردد. نمونه‌ای از آزمایش‌ها در سرریزهایی با تعداد سیکل ۲، ۴، ۶ و ۸ در مواجهه با اجسام شناوری با ضریب قدکشیدگی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ در شیب کلید معادل ۱/۵ در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است.

پس از اجرای ۲۴۰۰ مرحله آزمایش و غربالگری داده‌های آزمایشگاهی، تجزیه و تحلیل‌های لازم صورت پذیرفت. آزمایش‌ها با تغییر دبی جریان Q از ۰/۵ تا ۱۵/۴ لیتر بر ثانیه اجرا شد. محدوده تغییر پارامترها در جدول ۳ گزارش شده است.

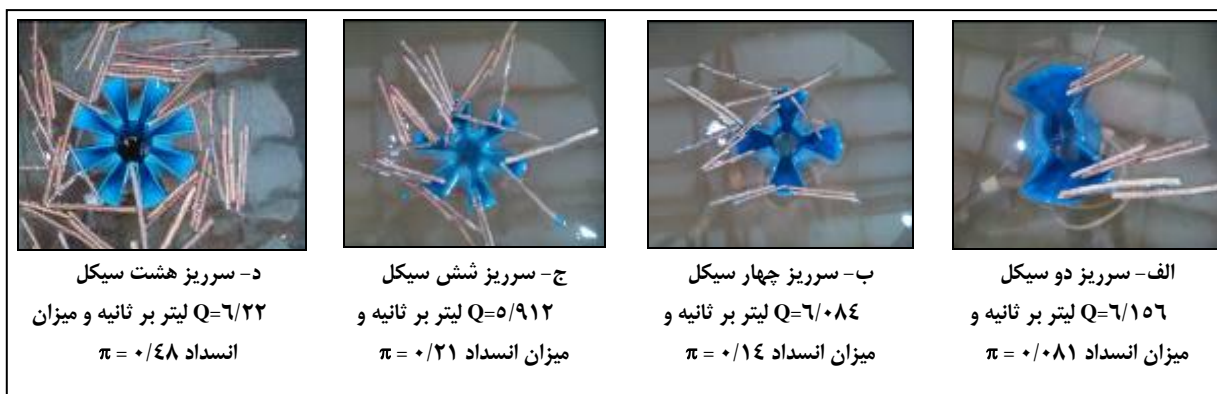
مشاهدات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که پارامترهای تعداد سیکل، شیب کلیدها، و ضریب قدکشیدگی تأثیر بسزایی در میزان تجمع اجسام شناور دارند. با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی می‌توان گفت که در هنگام مواجهه سرریز با اجسام شناور، در شرایط هیدرولیکی یکسان افزایش تعداد سیکل و شیب کلیدها منجر به افزایش

جدول ۳- محدوده پارامترهای حاکم بر فضای تحقیق

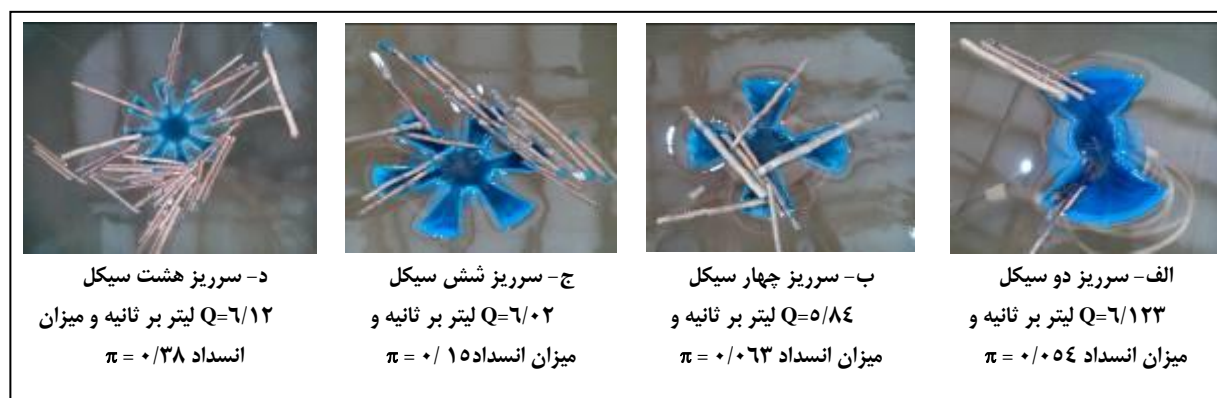
تغییرات	واحد	نماد	پارامتر
۱۰/۲۸ تا ۲۲/۲۸	بی‌بعد	L/D_i	طول نسبی تاج
۱/۵، ۱، ۰/۵	بی‌بعد	z	شیب کلید ورودی به خروجی
۲۵، ۲۰، ۱۵	بی‌بعد	L_d/D_d	ضریب قدکشیدگی اجسام شناور
۱۵ تا ۰/۵	لیتر بر ثانیه	Q	دبی جریان
۲/۸۲ تا ۰/۱۵	سانتی‌متر	H_o	هد روی تاج قبل از انسداد
۵/۴۱ تا ۰/۱۷	سانتی‌متر	H_d	هد روی تاج بعد از انسداد
۵۳۸۲ تا ۳۴۵	بی‌بعد	Re	عدد رینولدز
۰/۸۲ تا ۰/۱۹	بی‌بعد	Fr	عدد فرود
۲۰۵۳ تا ۱۱۵/۴	بی‌بعد	We	عدد وبر



شکل ۴- اثر تعداد سیکل سرریز بر میزان انسداد اجسام شناور با ضریب قدکشیدگی ۱۵ در سرریزهایی با شیب کلید معادل ۱/۵



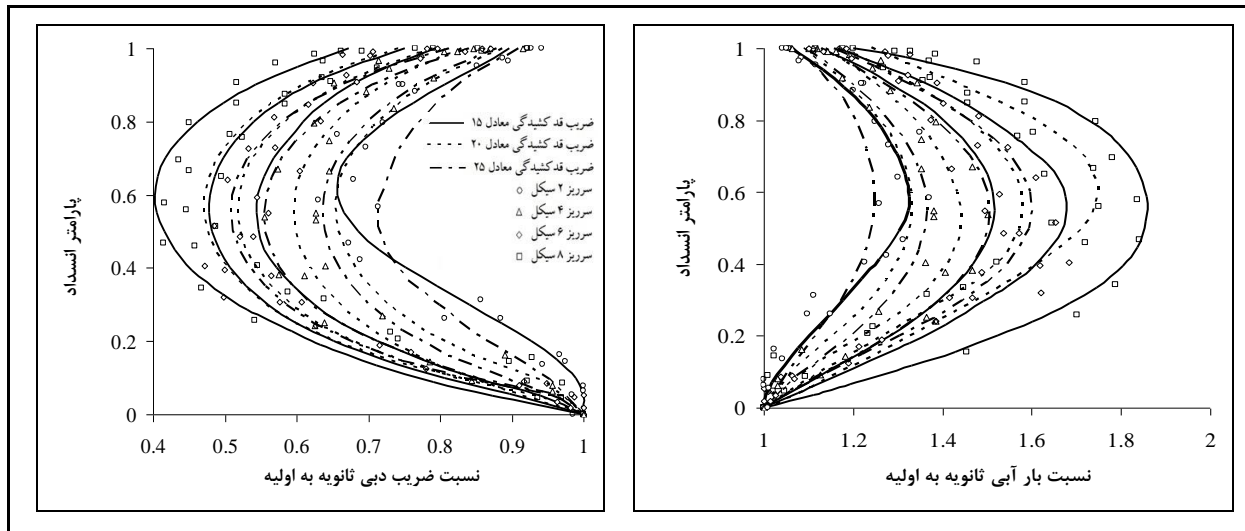
شکل ۵- اثر تعداد سیکل سرریز بر میزان انسداد اجسام شناور با ضریب قدکشیدگی ۲۰ در سرریزهایی با شیب کلید معادل ۱



شکل ۶- اثر تعداد سیکل سرریز بر میزان انسداد اجسام شناور با ضریب قدکشیدگی ۲۵ در سرریزهایی با شیب کلید معادل ۰/۵

به خروجی و تغییر در تعداد سیکل، به‌منظور بررسی اثر طول تاج سرریز، صورت پذیرفت. شکل ۷ تغییرات بار آبی و ضریب تخلیه سرریزهای تاج دندانه‌ای ۲، ۴، ۶ و ۸ سیکل را در شیب کلید (z) برابر با ۰/۵ و در برابر مقادیر مختلف انسداد تحت ضرایب قدکشیدگی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ نمایش می‌دهد.

برای بررسی روند تغییرات بار آبی و ضریب تخلیه جریان در مقابل میزان انسداد سرریز در مواقع حضور اجسام شناور در مخزن، مقادیر ضریب تخلیه جریان و بار آبی موجود در مقابل میزان انسداد رسم شد. این کار در همه سناریوهای اصلی ضریب قدکشیدگی و در همه سناریوهای فرعی تغییر در نسبت شیب کلیدهای ورودی



شکل ۷- روند تغییرات پارامتر انسداد (π) در برابر پارامتر بارآبی نسبی (h_0/d_0) و ضریب دبی نسبی (Cd_0/Cd_s) در سرریز با شیب کلید ۰/۵ تحت ضریب‌های قدکشیدگی و سیکل‌های مختلف

سرریز باعث افزایش بیشتر هد ثانویه می‌گردد. مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار افزایش نسبت هد ثانویه به هد اولیه در میزان انسداد ۰/۴ تا ۰/۸ است. در نهایت با افزایش دبی و افزایش هد اولیه روی سرریز شرایط لازم برای عبور اجسام شناور مهیا می‌شود و با کاهش پارامتر انسداد و کاسته شدن از تراکم روی سرریز، افزایش هد روی سرریز نسبت به هد اولیه روند کاهشی پیدا می‌کند و در نهایت با نزدیک شدن پارامتر انسداد به صفر میزان هد ثانویه (هد بعد از انسداد) با هد اولیه (هد قبل از انسداد) برابر می‌شود. با توجه به رابطه عمومی ضریب تخلیه سرریزها که در زیر ارائه شده است (رابطه ۴):

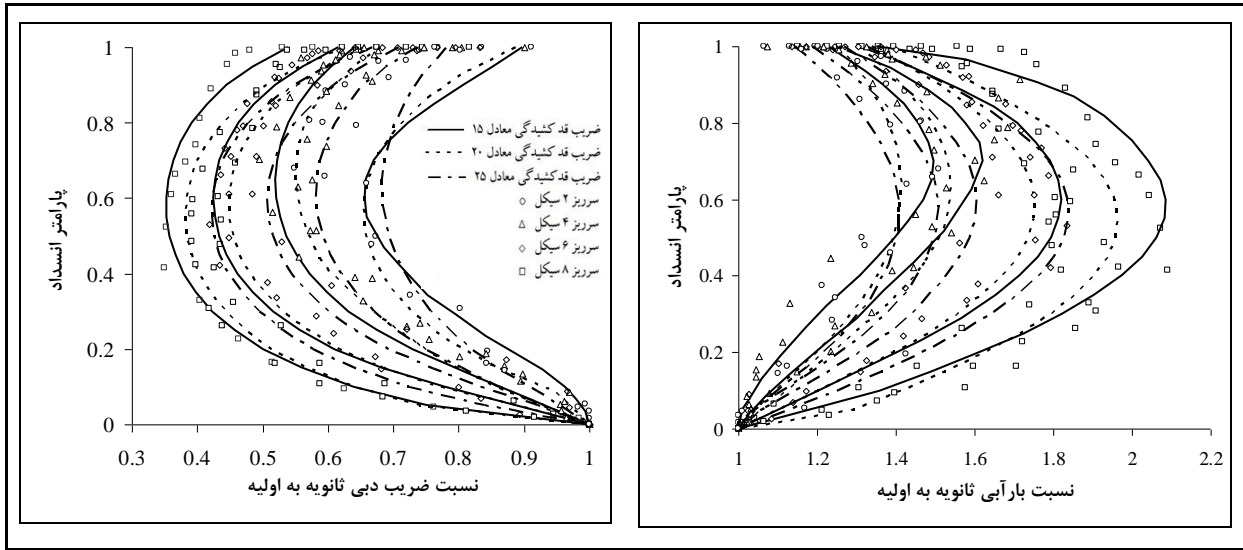
$$\frac{Cd_0}{Cd_s} = \sqrt{\left(\frac{H_d}{H_o}\right)^3} \quad (4)$$

با در نظر گرفتن روند تغییرات نسبت هد ثانویه به هد اولیه، مشاهده می‌شود که با کاهش پارامتر انسداد، نسبت ضریب تخلیه اولیه به ضریب تخلیه ثانویه ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. در شرایط یکسان، سرریزهایی با تعداد سیکل بیشتر به دلیل طول تاج بزرگ‌تر، ضریب دبی

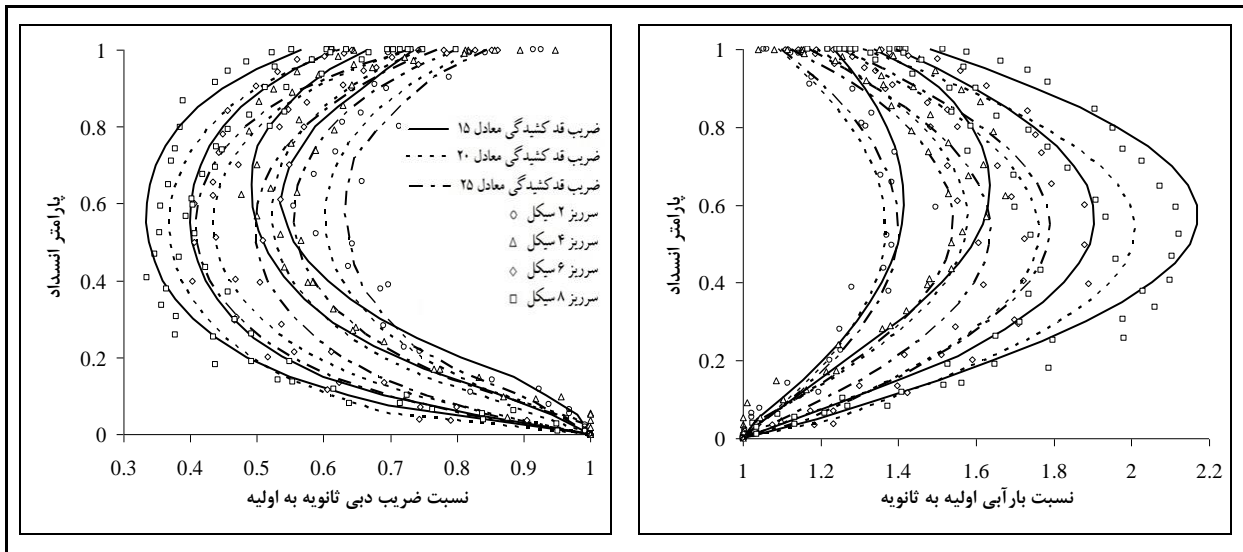
آهنگ تغییرات خطوط برازش داده شده از نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که با کاهش پارامتر انسداد، نسبت هد ثانویه به هد اولیه روی سرریز ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. همان‌گونه که مشهود است، در مراحل اولیه و با وجود دبی‌های پایین به علت کم بودن سرعت آب و مومنتم جریان در داخل مخزن، پخش چوب‌ها در داخل فلوم موجب می‌گردد تا تعداد کمی از آنها به سمت سرریز منتقل شود. این امر از یک‌سو میزان انسداد را بالا می‌برد و از سویی دیگر باعث می‌گردد تا چوب‌های شناور در کنار سرریز غیرمتراکم شوند و حجم کمتری از چوب‌ها بتوانند تأثیرگذار باشند. از این‌رو، در مراحل اولیه و با وجود میزان انسداد بالا، این تجمع غیر متراکم تأثیر کمتری بر میزان بار آبی موجود دارد و هد روی سرریز نسبت به حالت بدون انسداد به مقدار کمتری افزایش می‌یابد. با افزایش دبی و به تبع آن افزایش هد اولیه روی سرریز، شرایط لازم برای عبور برخی از اجسام شناور مهیا می‌شود و باعث کاهش میزان انسداد می‌گردد، ولی از سوی دیگر افزایش سرعت آب و مومنتم جریان در داخل فلوم حجم بیشتری از اجسام شناور را به سمت سرریز منتقل می‌کند و با ایجاد انسدادی متراکم و فشرده روی

دندانه‌ای در شیب کلید ۱ و ۱/۵ تحت ضرایب قدکشیدگی ۱۵، ۲۰ و ۲۵ در شکل‌های ۸ تا ۹ نشان داده شده است. بنابر نتایج این پژوهش اندرکنش ضریب قدکشیدگی، نسبت شیب کلیدهای ورودی به خروجی (z) و تعداد سیکل تأثیر بسزایی در میزان احتمال انسداد اجسام شناور روی سرریز تاج دندانه‌ای و افزایش هد جریان در بالادست سرریز و کاهش ضریب تخلیه جریان دارد، به طوری که میزان قدرت تخلیه در سرریزهای تاج دندانه‌ای با افزایش ضریب قدکشیدگی، روندی افزایشی دارد. میزان ضریب دبی در سرریزهای با ارتفاع و تعداد سیکل یکسان در ضریب قدکشیدگی ۲۵ بیشتر از مقدار آن به ترتیب در ضریب‌های قدکشیدگی ۲۰ و ۱۵ است. مقایسه بخش‌های مختلف در شکل‌های ۷ تا ۹ نشان می‌دهد که صرف نظر از تغییر میزان ضریب قدکشیدگی واریزه‌ها، افزایش نسبت شیب کلیدهای ورودی به خروجی و تعداد سیکل منجر به بالا رفتن پارامتر انسداد و به تبع آن افزایش میزان بار آبی و کاهش ضریب تخلیه سرریزها شده است. وقوع این امر به نوع واریزه‌ها وابسته نیست و برای هر نوع واریزه‌ای محتمل است. از مقایسه مقادیر ضریب دبی در سناریوهای مختلف می‌توان به این نتیجه رسید که با تغییر ضریب قدکشیدگی از ۱۵ به ۲۰ میزان ضریب تخلیه جریان در سرریزهای با نسبت شیب کلیدهای به ترتیب برابر با ۰/۵، ۱ و ۱/۵ به طور متوسط تا ۵/۴۸، ۶/۵ و ۱۱/۶ درصد افزایش دارد و همچنین تغییر ضریب قدکشیدگی از ۱۵ به ۲۵ به طور متوسط منجر به افزایش ۱۲/۵۱، ۱۳/۳۱ و ۱۷/۱۶ درصد در میزان ضریب تخلیه جریان در سرریزهای با نسبت z به ترتیب برابر با ۰/۵، ۱ و ۱/۵ شده است.

بالاتری دارند. ضریب دبی بالاتر موجب ایجاد هد کمتر روی سرریز می‌شود. پایین بودن هد روی سرریز با تعداد سیکل بیشتر و دارا بودن طول مؤثر بزرگ‌تر باعث کاهش مومنتم جریان عبوری در واحد طول تاج سرریز و وارد آمدن نیروی کمتر به چوب‌های شناور موجود روی سرریز می‌شود. در سرریزهایی با تعداد سیکل بیشتر، کمتر بودن نیروی وارد شده به اجسام شناور از یک سو و عرض کم کلیدهای ورودی و خروجی از سوی دیگر، موجب افزایش انسداد و ایجاد تراکم روی سرریز می‌گردد. این امر موجب خواهد شد که در شرایط یکسان، در سرریزهایی با تعداد سیکل بیشتر هد ثانویه نسبت به سرریزهای با تعداد سیکل کمتر افزایش بیشتری یابد. بنابراین، ضریب تخلیه ثانویه در سرریزهای تاج دندانه‌ای با تعداد بیشتر، نسبت به سرریزهای با تعداد سیکل کمتر، بیشتر کاهش پیدا می‌کند. در شرایط یکسان، میزان انسداد در سرریزهای با شیب کلید ورودی به خروجی بزرگ‌تر، از دو لحاظ بیشتر است: یکی به واسطه برخورداری از ضریب تخلیه بیشتر در شرایط یکسان که باعث کاهش بار آبی روی سرریز و به تبع آن کاهش مومنتم جریان عبوری از روی سرریز می‌شود و دیگر اینکه افزایش شیب کلید ورودی به خروجی سرریز منجر به مرتفع شدن دیواره‌های کلیدها می‌شود که این امر نیز می‌تواند احتمال انسداد سرریز را در مواجهه با اجسام شناور افزایش دهد. به همین دلیل در سرریزهای با شیب کلید بزرگ‌تر بار آبی موجود نسبت به سایر سرریزها بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد و افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد. به طور مشابه، تحلیل یکسانی در خصوص بررسی روند تغییرات مشخصات هیدرولیکی سرریز تاج



شکل ۸- روند تغییرات پارامتر انسداد (π) در برابر پارامتر بارایی نسبی (h/d_0) و ضریب دبی نسبی (CD_0/CD) در سرریز با شیب کلید ۱ تحت ضرایب قدکشیدگی و سیکل‌های مختلف



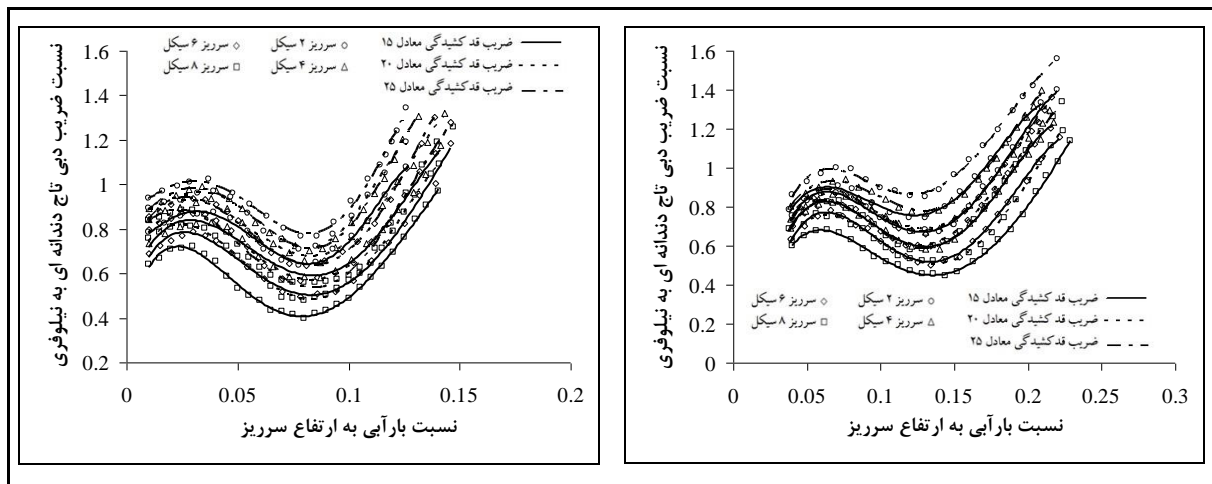
شکل ۹- روند تغییرات پارامتر انسداد (π) در برابر پارامتر بارایی نسبی (h/d_0) و ضریب دبی نسبی (CD_0/CD) در سرریز با شیب کلید ۱/۵ تحت ضرایب قدکشیدگی و سیکل‌های مختلف

پذیرفته است. با توجه به شکل‌های ۱۰ تا ۱۱ ملاحظه می‌شود که در همه سناریوهای مورد آزمون، در دبی‌های پایین که میزان انسداد سرریز تاج دندان‌های از میزان انسداد سرریز نیلوفری بیشتر است، میزان ضریب تخلیه ثانویه سرریز تاج دندان‌های در تمامی سیکل‌ها و در همه ضریب‌های قدکشیدگی و به‌ازای همه هدها و شیب کلیدها، از میزان ضریب تخلیه ثانویه سرریز نیلوفری کمتر

برای ارزیابی نتایج حاصل از عملکرد سرریزهای تاج دندان‌های در شرایط تجمع اجسام شناور در دهانه آنها، مقادیر ضریب تخلیه آنها در مقابل سرریزهای نیلوفری مورد استفاده قرار گرفت. نکته قابل توجه آن است که چون ساخت سرریز نیلوفری در نسبت Z معادل ۰/۵ (به دلیل کوتاه بودن بیش از حد این نسبت) ناممکن است، مقایسه مورد نظر فقط در دو شیب معادل ۱ و ۱/۵ صورت

دارد. بر اساس مطالعات دی وریس^۱ اگر عدد رینولدز که به شکل $V_i H/U$ محاسبه شده باشد بزرگتر از ۴۰۰ باشد، می‌توان از اثر لزوجت در نتایج آزمایشگاهی صرف‌نظر کرد (Nicksefat, 2001). هیکر^۲ در مطالعات خود نشان داد اگر توان دوم عدد وبر از ۱۰۰۰۰ بزرگتر باشد می‌توان از اثر نیروی کشش سطحی صرف‌نظر کرد. با توجه به نتایج جدول ۳، در بیش از ۹۵ درصد مشاهدات آزمایشگاهی اعداد رینولدز و وبر در محدوده‌هایی قرار دارند که دی‌وریس و هیکر گفته‌اند. بنابراین برای ساده‌سازی شکل نهایی رابطه کلی، از اثر لزوجت و کشش سطحی در تخمین ضریب تخلیه جریان آزاد صرف‌نظر می‌شود (Vischer & Hager, 1998).

است که این امر نشان از قدرت تله‌اندازی بیشتر سرریز تاج دندانهای دارد که مانع از ورود اجسام شناور به مجرای انتقال آب به پایین‌دست و مسدود شدن آن می‌شود. در دبی‌های بالا که از حجم چوب‌های شناور موجود روی سرریز کاسته می‌شود و میزان انسداد آن کاهش می‌یابد، ضریب تخلیه سرریز تاج دندانهای روندی افزایشی دارد و در همه سناریوهای مورد آزمایش بیشتر از ضریب تخلیه سرریز نیلوفری می‌شود. برای ارائه رابطه‌ای کلی برای تخمین ضریب تخلیه جریان در سرریزهای تاج دندانهای تحت شرایط تجمع اجسام شناور، ارزیابی اثر بخشی پارامترهای بدون بعد معرفی شده در رابطه ۳ با استفاده از حدود تغییرات آنها، که در جدول ۳ درج شده‌اند، ضرورت



شکل ۱۱- مقایسه ظرفیت تخلیه سرریز تاج دندانهای

نسبت به ظرفیت تخلیه سرریز نیلوفری در ارتفاع نسبی ۱/۵ و در مقابل پارامتر نسبی H/D

$$CD_i = 0.1383 * \left[\frac{h_o}{h_d} + \left(\frac{P}{L} \right)^{0.203} \right]^2 + 0.4669 * [\pi - 0.3729]^2 \quad (5)$$

تابع‌های آماری خطای مورد استفاده نشان می‌دهند که رابطه ۵ دارای ضریب همبستگی ۰/۸۸۷۸ و ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۰۲۸۸ است. در گام بعد به منظور ارزیابی توانایی رابطه ۵ در تخمین ضریب تخلیه جریان در هنگام مواجهه با اجسام شناور در سرریزهای تاج دندانهای،

شکل ۱۰- مقایسه ظرفیت تخلیه سرریز تاج دندانهای

نسبت به ظرفیت تخلیه سرریز نیلوفری در ارتفاع نسبی ۱ و در مقابل پارامتر نسبی H/D

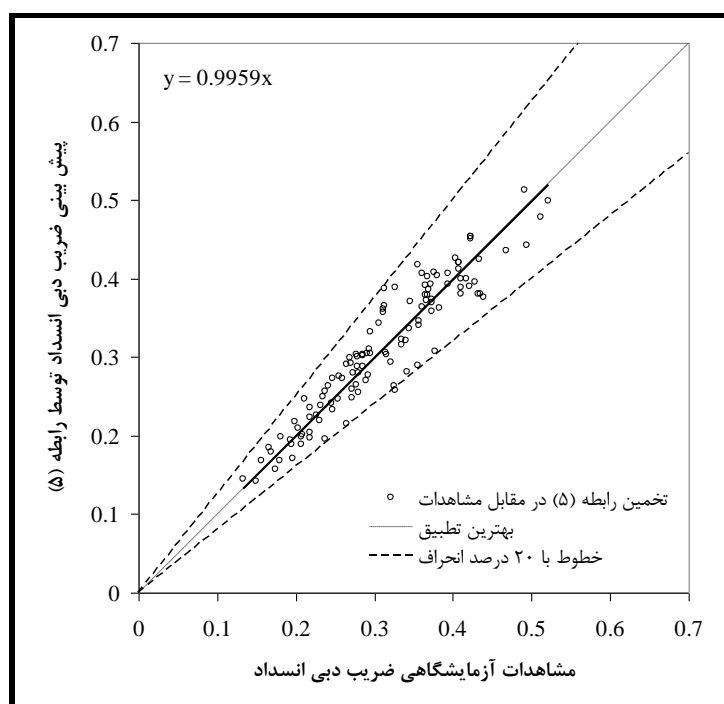
برای تعیین رابطه حاکم بر فضای پژوهش، از رگرسیون غیرخطی استفاده شد و سهم هر یک از پارامترهای بدون بعد π ، P/L و h_o/h_d به‌عنوان پارامترهای مستقل در میزان ضریب تخلیه جریان تعیین گردید. برای این منظور از نرم‌افزار تحلیل گر آماری SPSS استفاده شد. رابطه ۵ نگاهت صورت گرفته بر فضای بین پارامترهای مستقل و وابسته را نشان می‌دهد.

خط برازش شده از بین نتایج حاصل از تخمین رابطه ۵، در مقابل نتایج مشاهداتی، دارای ضریب زاویه ۰/۹۹۵۹ است. شکل ۱۵ نحوه قرارگیری مقادیر پیش‌بینی شده پارامتر (CD_d) را در مقابل مقادیر مشاهداتی نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامتر ضریب دبی جریان در مقابل مشاهدات آزمایشگاهی نظیر آن مقایسه شد. تابع‌های خطای حاصل از پیش‌بینی پارامتر (CD_d) در جدول ۴ خلاصه شده‌اند. تجزیه و تحلیل آماری نشان می‌دهد که

جدول ۴- توابع خطای حاصل از مقایسه نتایج رابطه پیشنهادی در برابر نتایج مشاهدات آزمایشگاهی

پارامتر	ریشه میانگین مربعات خطا	درصد میانگین خطا	خطای استاندارد تخمین	راندمان معادلات	ضریب زاویه
	RMSE	MPE	SEE	EF	M
CD_d	۰/۰۲۸۸	۰/۳۶۷۳	۰/۰۲۸۶	۰/۸۸۸۲	۰/۹۹۵۹



شکل ۱۵- پیش‌بینی پارامتر CD_d توسط رابطه (۵) در مقابل نتایج مشاهدات آزمایشگاهی

دبی جریان نسبت به حالت اولیه با کاهش پارامتر انسداد ابتدا روند کاهشی و بعداً روند صعودی در پیش می‌گیرد. تحلیل نتایج نشان می‌دهد که میزان ضریب دبی بعد از انسداد در سرریزهای با تعداد سیکل و ارتفاع یکسان در ضریب قدکشیدگی ۲۵ بیشتر از مقدار آن به ترتیب در ضریب‌های قدکشیدگی ۲۰ و ۱۵ است. با تغییر ضریب قدکشیدگی از ۲۵ به ۲۰ و از ۲۵ به ۱۵ میزان ضریب تخلیه جریان نیز به ترتیب به‌طور متوسط ۷/۵۱ و ۱۶/۸۸ درصد کاهش می‌یابد. در تمامی ضریب‌های قدکشیدگی

نتیجه‌گیری

در این تحقیق اثر تجمع اجسام شناور بر میزان بار آبی و ضریب دبی جریان سرریزهای تاج دندان‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ سیکل در شیب‌های مختلف کلیدهای ورودی و خروجی بررسی شده است. نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که با کاهش میزان انسداد، تغییرات بار آبی نسبت به حالت اولیه در همه سرریزهای مورد استفاده در این پژوهش ابتدا روند افزایشی و پس از آن روند نزولی در پیش می‌گیرد. همچنین با توجه به روند تغییرات بار آبی، تغییرات ضریب

۱۵، ۲۰ و ۲۵ و در تمامی هدها، سرریز ۸ سیکل به دلیل دارا بودن ضریب دبی اولیه بزرگتر و عرض کم کلیدهای ورودی و خروجی آن، نسبت به سرریزهای ۶، ۴ و ۲ سیکل، دارای پارامتر انسداد بیشتری است و به همین دلیل ضریب دبی جریان بعد از وقوع انسداد نسبت به ضریب دبی اولیه در سرریز ۸ سیکل بیشتر کاهش می‌یابد. همچنین در تمامی ضریب‌های قدکشیدگی ۱۵، ۲۰ و ۲۵، میزان انسداد در سرریزهای تاج دندان‌های با شیب کلید معادل ۱/۵ به ترتیب نسبت به سرریزهای مشابه با شیب کلید ۱ و ۰/۵ بیشتر است که در این حالت اجسام شناور در کنار سرریز به دام می‌افتند و اجسام شناور نمی‌توانند

به داخل مجرای انتقال جریان وارد شوند. این امر منجر به کاهش بیشتر ضریب دبی جریان در سرریز با شیب کلید ۱/۵، نسبت به سرریزهایی با شیب کلید ۱ و ۰/۵، می‌شود. مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از سرریزهای نیلوفری نشان می‌دهد که در همه شرایط آزمون، سرریز تاج دندان‌های نسبت به سرریز نیلوفری پتانسیل تله‌اندازی بزرگتری دارد. در مجموع، به کارگیری سرریز تاج دندان‌های در دهانه ورودی آبیگرهای مدور قائم، مخصوصاً در نیروگاه‌های برقی، می‌تواند به عنوان یک سرریز با ایمنی بیشتر نسبت به سایر سرریزهای مشابه نقش داشته باشد.

مراجع

- Crockston, B. M. 2010. Labyrinth weirs. Ph. D. Thesis. Utah State University. Logan, Utah.
- Lashkar-Ara, B. and Sheikhi, Y. 2017. Introduce of crown wheel spillway and study of its discharge coefficient under free flow regime. *J. Irrig. Sci. Eng.* 40(2): 209-221. (in Persian)
- Laugier, F. 2007. Design and construction of the first piano key weir (PKW) spillway at the Goulours dam. *Int. J. Hydropower Dams.* 14(5): 94-101.
- Leite-Ribeiro, M., Pfister, M., Schleiss, A. J. and Boillat, J. L. 2012. Hydraulic design of A-type piano key weirs. *J. Hydraul. Res.* 50(4): 400-408.
- Mansouri, K. and Ahadian, J. 2016. Blockage of piano key weirs in debris flow with individual experiments. *J. Irrig. Sci. Eng.* 39(3): 163-172. (in Persian)
- Nicksefat, R. 2001. Theoretical Aspects and Application of Hydraulic Models in Hydraulic Structures Designing. Iranian National Committee of Large Dams. Ministry of Energy Pub. (in Persian)
- Ouamane, A. and Lempérière, F. 2006. Design of a new economic shape of weir. Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century. June 18. Barcelona, Spain.
- Pfister, M., Schleiss, A. J. and Tullis, B. 2013a. Effect of Driftwood on Hydraulic Head of Piano Key Weirs. In: Erpicum, S., Laugier, F., Pfister, M., Piroton, M., Cicero, G. M. and Schleiss A. J. (Eds.) *Labyrinth and Piano Key weirs II.* CRC Press, Leiden, Netherlands.
- Pfister, M., Capobianco, D., Tullis, B. and Schleiss, A. J. 2013b. Debris blocking sensitivity of Piano Key weirs under reservoir-type approach flow. *J. Hydraul. Eng.* 139(11): 1134-1141.
- Poshteh-Shirani, M., Rahimpour, M. and Ahmadi, M. M. 2017. The effect of nose and parapet wall piano keys weir on the floating woody debris. *J. Irrig. Sci. Eng.* 40(3): 209-221. (in Persian)
- Rouhanipour, K. 2016. An experimental study of the effect of free vortex strength on the discharge coefficient in shaft spillway with Crown Wheel inlet. M. Sc. Thesis. Civil Engineering Department, Junduy-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. (in Persian)

Saunders, S. and Oppenheimer, M. L. 1993. A method of managing floating debris. Proceeding the Hydraulics Conference. July 25-30. American Society of Civil Engineers, San Francisco, California, United States.

Vischer, D. L. and Hager, W. H. 1998. Dam Hydraulics. John Wiley and Sons. Zürich, Switzerland, ISBN: 978-0-471-97289-1.

Zevenbergen, L. W., Lagasse, P. F., Clopper, P. E. and Spitz, W. J. 2006. Effects of debris on bridge pier scour. Proceeding of the 3rd International Conference on Scour and Erosion. Nov. 1-3. Amsterdam, The Netherlands.

Laboratory Evaluation of the Effect of Floating Debris Accumulation at Crown Wheel Weirs on the Hydraulic Characteristics under Cumulative Test

S. Habibi and B. Lashkar-Ara*

* Corresponding Author: Assistant Professor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. Email: babak_lashkarara@yahoo.com

Received: 17 July 2017, Accepted: 21 November 2017

In this research the effect of floating debris accumulation in the debris flow at the weir entrance on hydraulic coefficients of crown wheel weir is discussed. For this purpose, an effort was made to create different amount of blocking at the opening of crown wheel weir, by using experimental setups and by use of woods with various slenderness coefficients. In order to study the effect of weir opening shape on the Hydraulic Profile, several conditions were created by changing the gradient keys (z) and number of cycles (n) of crown wheel. Regardless of the shape of inlet to intake, results showed that increasing the slenderness coefficient decreases the possibility of blocking in overflow openings and consequently, reduces the upstream head water and increases the coefficient of discharge spill flow. In other words by changing the slenderness coefficient from 15 to 20 and 25 respectively, the discharge flow on an average increased from 8.02 to 14.44 percent. . Moreover, the key slope (z) and cycle numbers (n) of crown wheel weir, affected the amount of blocking and consequently characteristics of hydraulic flow such that the best performance belonged to key slope of equivalent to 1.5 which was observed in weirs with 8, 6, 4 and 2 number of cycles, respectively.

Key Words: Blocking, Debris Flow, Discharge Coefficient, Slenderness Coefficient