Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 44, No. 4, Winter 2022, p. 45-57

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

Research Paper

EXTENDED ABSTRACT

Two Cycle Circular Piano Key Weir Blocking Probability Assessment along Indivual Experiment

S. Habibi[1] and B. Lashkar-Ara[2*]

1- Master Geaduate, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.
2- Associate Proffessor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. (Lashkarara@jsu.ac.ir)*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 8 May 2019
Revised: 6 September 2019
Accepted: 12 September 2019

Keywords:
Morning Glory Weir, Slenderness Coefficient, Discharge Coefficient, Floating Debrise, Debris Flow.

TO CITE THIS ARTICLE:

Habibi, S., Lashkarara, B. (2021). 'Two Cycle Circular Piano Key Weir Blocking Probability Assessment along Indivual Experiment', Irrigation Sciences and Engineering, 44(4), pp. 45-57. doi: 10.22055/jise.2017.22015.1575

Introduction

This study uses the blocking of a two-cycle circular piano key weir (C.P.K) that benefits from a considerable vortex breaking capability compared to other kinds. To do so, the impact of floating objects on the blocking amount of this weir is investigated using 13 pieces of wood with slenderness coefficients (L_d/D_d) of 15, 20, and 25. Three slopes of 1:0.5, 1:1, and 1:1.5 (vertical: horizontal) were chosen to study the impact of the bottom slope of the input and output keys on the blocking probability. To reach the mentioned slopes, the shape of the weir was designed and built with three *P/D* relative heights of 0.5, 1, and 1.5. The experiments showed that the weir had more blocking probability with a relative height of 1.5 than the other models with fewer key slopes. In addition, individual experiments revealed that the diameter of floating objects was more influential on blocking probability than the length of the objects and the amount of upstream watery load. It can generally be concluded that increasing the diameter and length of the floating objects are directly and indirectly correlated with the blocking amount and the amount of watery load on the weir crown, respectively. Comparing the obtained results with the bell-mouth spillway reveals that the C.P.K weir benefits from more sediment trapping capability.

Methodology

According to the predicted scenarios and the objectives of the present research, various weirs were made under the slopes of the input key to the output equal to 0.5: 1, 1: 1, and 1.5: 1. Therefore, three models of the C.P.K weir were made here. The results were also compared with two glory overflows with different heights made in this study. All experiments were carried out on a flume (6 m long, 1 m high, and 1 m wide) in the Hydraulic and River Engineering Research Laboratory of Jundishapur University of Technology. An electromagnetic flowmeter was used to measure the discharge into the reservoir, which was located in the direction of the pipeline from the pumping system to the upstream reservoir. The height of the water inside the reservoir and over the weir was also measured using a

depth gauge with a precision of 0.1 mm installed on the tank. According to the studies on the blockage created on the overflows during the flood, 13 types of wood with different lengths and diameters were selected (Pfister et al., 2013b) to achieve the objectives of the present study. The practice of scaling the length and diameter of shoots was based on the 15, 20, and 25 coefficients of slenderness. A wide range of wood with different lengths and diameters is used to achieve the appropriate dimensions, and the relationship between the flow rate and the size of wood in the laboratory conditions is in accordance with the natural conditions.

Results and Discussion

The experiments were carried out by changing the flow rate Q from 0.5 to 12.6 L/s. In this study, the changes of fitting lines were observed between experimental results for the slenderness coefficients 15 and 20, except for the blockage possibility equal zero and one, it is almost linear and with the increase of the relative head, the blockage probability decreases and with decreases of the relative head, the blockage probability increase.

The weirs with larger relative heights are more probability to blockage for two reasons. In the first point, a higher discharge coefficient in the same conditions reduces the amount of water on the weir and, consequently, decreases the momentums of passing flow on the weir. This reduces the amount of force applied to the floating wood for passing from the weir and thereby increases the possibility of blockage. From another viewpoint, increasing the relative height of the weir leads to the rise of input and output key walls. This could also increase the blockage probability of the weir in the face of floating objects.

The blockage probability of floating debris in the C.P.K weir has a decreasing trend with increasing the slenderness coefficient, and the probability of blockage in the weir with similar height and cycles in a slenderness coefficient of 15 is more than its values at the slenderness coefficients of 20 and 25. The floating debris with a bigger slenderness coefficient is more likely to blockage due to having a smaller diameter in the same lengths than those with lower slenderness coefficients, indicating the effect of the diameter of the debris on the blockage probability.

The results of the evaluation showed that the C.P.K. blockage probability versus glory spillway was more than one for all floating debris slenderness coefficients. In the best case, the blockage probability of the C.P.K. is 3 times bigger than that of the glory spillway. This means that the C.P.K. has a greater potential for trapping the floating debris, which prevents them from going downwards, blocking the water duct, and causing damage to the hydraulic equipment in the duct.

Conclusions

The results showed that in a weir with a greater relative height, the conditions for increasing the probability of blockage are facilitated due to having longer outlet key walls. In fact, the vortex breakers power of the two-cycle C.P.K. plays a key role in this regard. Compared to the glory overflow, the blockage probability of the two-cycle C.P.K. indicates that when facing these two types of overflow with the debris flows, there is a significant improvement in the performance of the two-cycle C.P.K. In the best-case conditions, the blockage probability increases by up to three times the glory overflow. Therefore, it can be concluded that if the intake facilities of a pond near the rivers responsible for the drainage or discharge of excess water, the use of a crown wheel inlet in them can help to increase both the flow discharge coefficient and the vortex breaking power and prevent the entry of floating wood and rubbish into the duct.

Acknowledgment

We are grateful to the Jundi-Shapur University of Dezfoul for financial support.

References

1- Pfister, M., Schleiss, A. and Tullis, B., 2013b. Effect of driftwood on hydraulic head of Piano Key Weirs. *in Labyrinth and Piano Key Weirs II* – PKW 2013. S. Erpicum, F.

© 2022 Shahid Chamran Universiry of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤٤، شماره‌ی٤، زمستان ١٤٠٠، مقاله پژوهشی، ص. ٥٧-٤٥

ارزیابی احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای دوسیکل تحت آزمایش انفرادی

سعید حبیبی[1] و بابک لشکرآرا[2*]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول. Lashkarara@jsu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۸ بازنگری: ۱۳۹۸/۶/۱۵ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۲۱

چکیده

سرریز تاج‌دندانه‌ای نوعی سرریز غیرخطی مدور قائم است که دارای ظرفیت تخلیه بیشتری نسبت به سرریزهای مشابه خود می‌باشد، در این نوع سرریز برای یک دبی ثابت، ارتفاع بار آبی روی آن کمتر بوده و همین امر احتمال انسداد ناشی از تجمع اجسام شناور را در آن افزایش می‌دهد. در این تحقیق انسداد سرریز تاج دندانه‌ای دو سیکل که از قابلیت گرداب شکنی ویژه‌ای نسبت به سرریزهای چهار، شش و هشت سیکل برخوردار است، مورد بررسی قرار گرفته است. بدین جهت با استفاده از ۱۳ نمونه قطعات چوب با ضریب قدکشیدگی (L_d/D_d) معادل ۱۵، ۲۰ و ۲۵، تأثیر اجسام شناور بر میزان احتمال انسداد این نوع سرریز مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی اثر شیب کف کلیدهای ورودی و خروجی بر میزان احتمال انسداد، شیب‌های یک به نیم، یک به یک و یک به یک و نیم انتخاب شدند و به‌منظور دستیابی به شیب‌های مذکور، شکل سرریز تحت سه ارتفاع نسبی (P/D) معادل نیم، یک و یک و نیم طراحی و ساخته شد. آزمایش‌ها نشان داد که سرریز با ارتفاع نسبی (P/D) معادل ۱۵ دارای احتمال انسداد بیشتری نسبت به مدل‌های با شیب کلید کمتر می‌باشد، هم‌چنین قطر اجسام شناور نسبت به طول و میزان بار آبی بالادست سرریز تأثیرگذاری بیشتری در احتمال انسداد دارد. میزان احتمال انسداد با قطر و طول اجسام شناور رابطه مستقیم داشته و با میزان بار آبی روی تاج سرریز رابطه معکوس دارد. مقایسه نتایج با سرریز نیلوفری نشان داد که، سرریز تاج‌دندانه‌ای از قدرت تله اندازی رسوبات شناور بیشتری برخوردار است.

کلید واژه‌ها: سرریز نیلوفری، ضریب قدکشیدگی، چوب‌های شناور، جریان آواره‌ای، ضریب تخلیه.

مقدمه

آبگیرهای قائم یکی از سازه‌های هیدرولیکی هستند که به‌منظور آبگیری مستقیم از رودخانه‌ها و یا مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرند. آبگیرهای قائم سازه‌هایی اقتصادی می‌باشند و در صورت طراحی صحیح و اصولی، 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 تأسیسات هیدروالکتریکی جلوگیری می‌کنند. ولی تجمع اجسام شناور و چوب‌ها یکی از مشکلات عمده آبگیرهای قائم می‌باشد. هنگام بارندگی‌های شدید در اثر فرسایش یا لغزش سواحل کنده‌ها و شاخه‌هایی تحت عنوان آواره‌های شناور وارد جریان رودخانه شده و بر قدرت مخرب سیلاب می‌افزایند، اجسام وارد شده به مسیر جریان رودخانه در صورت عدم وجود سازه‌های منحرف کننده و جمع‌آوری کننده مثل بوم‌های شناور و شبکه‌های آشغال‌گیر توسط جریان به نواحی پایین‌دست حمل می‌شوند، که در نواحی پایین‌دست حوضه‌های آبریز، زیرساخت‌ها و سازه‌های هیدرولیکی موجود در طول رودخانه انتقال اجسام و چوب‌های شناور را محدود کرده و باعث تجمع آن‌ها می‌گردند، به‌خصوص در نواحی شهری افزوده شدن زباله‌های شهری این مشکلات را تشدید خواهند کرد. شاخه‌ها و تنه‌های درختان که در مواقع سیلابی به جریان آب اضافه می‌شوند، می‌توانند در کنار سازه‌های هیدرولیکی و ورودی‌های سرریزها تجمع کنند، در صورت عبور اجسام شناور از دهانه ورودی آبگیر علاوه بر احتمال مسدود شدن مجرای انتقال آب که موجب کاهش ظرفیت تخلیه و اختلال در عملکرد آن می‌شود، ممکن است، موجب وارد آمدن صدمه به تجهیزات هیدروالکتریکی موجود در مسیر جریان گردد. اندازه و شکل درختان با شیب رودخانه، نرخ دبی و اندازه و تعداد تخته سنگ‌های موجود در بستر رودخانه مرتبط است، که در رودخانه‌های سنگلاخی با شیب تند درختان با برخورد به بستر رودخانه به سرعت شکسته شده و به قطعات کوچکتری تبدیل می‌شوند (Pfister et al., 2013a).

ورود اجسام شناور و درختان به جریان سیلابی علاوه بر افزایش قدرت تخریب جریان و افزایش ارتفاع آب در بالادست سازه‌های هیدرولیکی موجود در مسیر جریان، می‌تواند باعث کاهش سطح مقطع جریان عبوری و گذر جریان از روی سازه گردد، و مشکلات جدی را به همراه داشته باشد. هم‌چنین تجمع آواره‌ها در نقاطی از سازه‌های هیدرولیکی که ممکن است در طراحی در نظر گرفته نشده

باشند، می‌تواند آبشستگی محلی موجود در آنها را تشدید کند (Zevenbergen et al., 2006). آن‌ها با بررسی اجسام و چوب‌های شناور موجود در محیط رودخانه بیان کردند، که امکان مواجه ساختار مهندسی موجود در محیط رودخانه با اجسام شناور وجود دارد، بنابراین تأثیر این اجسام باید از جنبه‌های مهم طراحی باشد و باید هردو امکان، تأثیر اولیه و احتمال تجمع اجسام شناور در طراحی سازه‌های هیدرولیکی در نظر گرفته شود. علاوه بر این تجمع اجسام شناور در کنار سازه‌ها یک جریان اجباری به سمت بستر رودخانه شکل خواهد داد که باعث افزایش آبشستگی می‌گردد (Saunders and Oppenheimer, 1993). یکی از سازه‌های هیدرولیکی مهم موجود در مسیر جریان، سرریزها می‌باشند که عبور جریان حاوی کنده و شاخه درختان از روی آن باعث انسداد قسمتی از مقطع عبور جریان یا تمام آن شده، و با کاهش ظرفیت گذردهی جریان سرریز، باعث افزایش عمق بالادست سرریز می‌شوند. میزان انسداد مقطع بالادست سرریزها به پارامترهای مختلفی از جمله اندازه کنده‌ها و شاخه‌ها و هندسه سرریز بستگی دارد (Pfister et al., 2013b). سرریزهای غیر خطی از جمله سرریزهای پرکاربردی هستند که در چند دهه گذشته به دلیل دارا بودن ظرفیت تخلیه بالا استفاده از آن‌ها به جای سرریزهای خطی افزایش یافته است. سرریزهای غیرخطی مانند سرریز کلید پیانویی (Piano Key Weirs) و تاج دندانه‌ای (circular piano key weir) که طرح آن به تازگی ارائه شده است، به‌علت عملکرد هیدرولیکی بالا باعث کاهش عمق جریان روی سرریز می‌شوند. این امر می‌تواند موجب افزایش پتانسیل انسداد در این نوع سرریزها شده و عملکرد آن‌ها را کاهش دهد. عمق کم جریان باعث کاهش مومنتم جریان در هر واحد از طول سرریز برای عبور دادن آوارها می‌شود (Pfister et al., 2013b). علاوه بر این عرض کم کلیدهای ورودی و خروجی در این گونه سرریزها احتمال 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 آوارهای چوبی به عنوان یک پارامتر مهم در طراحی باید در نظر گرفته شود (Leite Ribeiro et al., 2012).

برای اولین بار Ouamane و Lemperiere (2006) در مطالعه‌های خود روی سرریز کلید پیانویی به‌طور جزئی به انسداد ایجاد شده توسط چوب‌های شناور پرداختند، ایشان در طی آزمایش‌های خود مشاهده کردند که در هنگام افزایش سطح آب از پایه تا تاج سرریز هیچ گونه تجمعی در زیر پیش آمدگی سرریز رخ نداد. در صورتی که در بارآبی کمتر از $0.4H$ چوب‌های شناور روی سرریز تجمع کردند و برای بارآبی بیشتر از این مقدار چوب‌ها به سمت پایین دست شسته شدند. آن‌ها عنوان کردند که برای H/P $0.5 >$ ظرفیت تخلیه در حالت انسداد تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

Laugier (2007) به بررسی سد گلورز (Golours Dam) در مواقع سیلابی با چوب‌های شناوری به طول چهار الی ۱۰ متر پرداخت و بیان کرد که در هنگام وقوع سیلاب در ساعت‌های اولیه بیشتر اجسام شناور از طریق سرریزهای دریچه‌ای تخلیه می‌شوند و پس از گذشت مدتی از سیلاب سرریز کلید پیانویی موجود شروع به کار می‌کند. Laugier (2007) با مشاهداتی که روی سد انجام داد، بیان کرد که انسداد سرریز کلید پیانویی تنها بخش کوچکی از طول دیوار تاج را تحت تأثیر قرار می‌دهد (در حدود پنج تا ۱۰ درصد) و متناظر با آن عرض دهانه خروجی سرریز بیشتر تحت تأثیر قرار می‌گیرد. Sogreah (2011) با مطالعه روی سرریز اضطراری سد لازیر (Luzieres Dam) فرانسه مشاهده نمود که جریان‌های آواری هم‌زمان با تولید سرعت آستانه بالا توسط ورودی‌های سرریز جذب می‌شوند و حجم جریان‌های آواری تجمع یافته با افزایش دبی کاهش می‌یابد. جریان‌های آواری در بارآبی بالا متراکم می‌شوند و در بارهای آبی کم از تراکم آن‌ها کاسته می‌شود و ارتفاع نسبی بار آبی برای دوره بازگشت صدساله در مقایسه با حالت بدون جریان آواری حدود یک متر تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد.

برای جلوگیری از تخریب سازه‌های موجود در پایین‌دست، Schmocker و Hager (2013) شبکه‌های آشغال‌گیر را قبل از رسیدن آوارها به آن‌ها، مدل و آزمایش کردند. به‌دلیل اینکه مدل‌سازی عددی آوارها هنوز بحث برانگیز بوده و هست، لذا ایشان تصمیم به‌جمع آوری تصادفی آوارها و بررسی عکس‌العمل‌های آن‌ها با وجود رسوب در جریان گرفتند. در این پژوهش، تمرکز آن‌ها بر عوامل مختلف مؤثر بر تجمع آوارها و ایجاد پس‌زدگی آب در بالادست بود و دریافتند که بر خلاف جزئیات مربوط به آوارها، عدد فرود جریان نقش مهمی در تجمع آوارها دارد. Pfister et al (2013a) نیز آوارهای شناور را در شرایط سرعت نزدیک شونده صفر به‌صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. بر اساس نتایج این محققین مشخص شد که قطر (D_d)، و بار آبی (H)، بیشتر از طول کنده‌ها (L_d)، بر احتمال انسداد تأثیر گذار می‌باشد. بر اساس یافته‌های آنان در حالتی که نسبت $D_d/H \geq 1$ باشد احتمال انسداد ۱۰۰ درصد و وقتی که کمتر از ۰/۳ باشد احتمال انسداد کنده‌ها صفر خواهد شد. در بار آبی کم، تجمع واریزه‌ها میزان بارآبی روی سرریز را تا حدود ۷۰ درصد افزایش می‌دهند، ولی در بارهای آبی بالا این میزان میزان تا حدود ۲۰ درصد افزایش نشان می‌دهد.

Poshteh-Shirani و Rahimpour (2017) به بررسی تأثیر دماغه و دیواره جان‌پناه سرریز کلید پیانویی بر انسداد اجسام شناور پرداختند. آنان دریافتند که احتمال انسداد نمونه‌ها هنگامی که عمق آب روی سرریز افزایش می‌یابد، کاهش یافته و در عوض با افزایش قطر و یا طول نمونه‌های چوب این احتمال افزایش می‌یابد. به‌طور کلی زمانی که نسبت (D_d/H) برابر یک شود نمونه‌ها شروع به حرکت کردن از روی سرریزها می‌کنند ولی درصد عبوری آن‌ها قابل توجه نمی‌باشد و کمترین احتمال انسداد در نسبت $D_d/H<0.3$ رخ می‌دهد. احتمال گرفتگی زمانی صفر است ($P=0$) که مقدار D_d $/H<0.2$ یا $L_d/H<5$ باشد و همچنین برای نسبت‌های $D_d/H>1$ و یا $L_d/H>15$ احتمال انسداد یک می‌باشد. آن‌ها نشان دادند که

DOI: 10.22055/JISE.2017.22015.1575

عملکرد مدل سرریز کلید پیانویی دارای دیواره جان پناه و دماغه در ارتباط با میزان عبور اجسام شناور نسبت به دو مدل سرریز با دیواره جان‌پناه و مدل سرریز ساده بهتر می‌باشد، به‌طوری که میزان گرفتگی در این سرریز نسبت به سرریزهای با دیواره جان پناه و مدل سرریز ساده به‌طور متوسط در تمامی نسبت‌های (D_d/H) بترتیب شش و ۱۵/۶ درصد کمتر می‌باشد.

Mansouri و Ahadiyan (2015) به بررسی انسداد سرریزهای کلید پیانویی در جریان‌های آواری با سیستم آزمایش انفرادی و تجمعی پرداختند. آن‌ها عنوان کردند که هر دو پارامتر (D_d) و (H) بر احتمال انسداد تأثیر گذارند، با افزایش قطر چوب‌ها، احتمال انسداد در آزمایش‌های انفرادی بیشتر و با کاهش آن‌ها کمتر می‌شود. در واقع به طور کلی وقتی که $D_d/H > 1$ باشد احتمال انسداد حدوداً یک خواهد بود و برای نسبت $D_d/H < 0.3$ احتمال انسداد به صفر نزدیک می‌شود. با افزایش مقدار (H/H_r) احتمال انسداد کاهش و با کاهش آن افزایش می‌یابد. وجود دیواره‌ها و وارد کردن کنده‌ها و شاخه‌ها به مقدار یک و نیم برابر توانسته مقدار (H) را نسبت به (H_r) در هر دو سرریز افزایش دهد.

Lashkar-Ara و sheikhi (2017) با انجام آزمایش‌هایی روی آبگیرهای مدور قائم با ورودی تاج دندانه‌ای تحت شرایط جریان غیر چرخشی در مخزن، نسبت به بررسی اثر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی این دسته از سرریزها پرداختند. تحلیل نتایج نشان داد که سرریزهای تاج دندانه‌ای با شیب کلیدها ۱:۱/۵ (قائم: افق) از ضریب تخلیه جریان بالاتری نسبت به سرریزهای با شیب ۱:۱ و ۰/۵ : ۱ برخوردارند. هم‌چنین نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که سرریزهای با تعداد سیکل بالاتر در نسبت بارآبی به ارتفاع کمتر از عملکرد بهتری نسبت به سرریزهای با تعداد سیکل پایین‌تر برخوردارند و دلیل اصلی آن برخورداری از نسبت طول تاج بیشتر این سرریز نسبت به سرریزهای دیگر می‌باشد، که باعث کاهش بارآبی کل روی سرریز و افزایش ضریب دبی جریان نیز می‌گردد. مقایسه نتایج خصوصیات هیدرولیکی این دسته از سرریزها با سرریز مدور قائم نشان دهنده برتری ضریب تخلیه این دسته از سرریزها در مقایسه با آبگیر مدور قائم با ورودی سرریز لبه تیز می‌باشد.

Shemshi و Kabiri-Samani (2017) به بررسی جریان چرخشی در سرریز مدور قائم با ورودی کلید پیانویی مدور پرداختند. ایشان دریافتند که در شرایط جریان چرخشی ورودی کلید پیانویی باعث کاهش تلاطم جریان و افزایش قدرت تخلیه نسبت به حالت ورودی مدور ساده می‌گردد. هم‌چنین نشان دادند که آستانه استغراق در نسبت‌های $0.5 \leq S_t/D \leq 1.5$ رخ می‌دهد.

Rouhanipoor و Lashkar-Ara (2017) به بررسی اثر زوال جریان‌های چرخشی در سرریزهای تاج دندانه‌ای دوسیکل پرداختند. آن‌ها با اعمال تغییر در زاویه جریان تقرب تلاش نمودند تا امکان ارزیابی اثر قدرت جریان‌های چرخشی در اطراف این نوع سرریز را فراهم آورند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که افزایش زاویه جریان تقرب نسبت به موقعیت آبگیر منجر به افزایش قدرت گرداب شده و به تبع آن باعث کاهش ضریب تخلیه جریان در سرریزهای تاج دندانه ای دو. سیکل خواهد شد. آن‌ها هم‌چنین از مقایسه نتایج تحقیق خود با سرریز نیلوفری نشان دادند که تحت شرایط جریان گرداب آزاد، سرریز تاج‌دندانه‌ای صرف‌نظر از میزان ارتفاع، تحت شرایط هیدرولیکی قبل از استغراق، به‌عنوان یک جایگزین مناسب مطرح خواهد بود.

از آنجایی‌که سرریز تاج دندانه‌ای به‌عنوان یک سرریز جدید مطرح می‌باشد لذا تاکنون مطالعه‌های اندکی پیرامون مسائل هیدرولیکی آن انجام شده است. بررسی منابع کتابخانه‌ای نشان می‌دهد که بحث انسداد در اثر جریان آواری روی آن تا کنون انجام نشده است. بر اساس مطالعه‌هایی که Lashkar-Ara و Sheikhi (2017) و Rouhanipoor و Lashkar-Ara (2017) به‌ترتیب پیرامون هیدرولیک جریان های غیرچرخشی و اثر زوال جریان چرخشی در اطراف سرریزهای تاج دندانه‌ای دو سیکل انجام دادند، نشان دادند که در بارهای آبی زیاد سرریزهای دوسیکل از لحاظ میزان گذردهی جریان و خاصیت گرداب شکنی از عملکرد بهتری نسبت به انواع دیگر برخوردارند، و از آنجایی که انسداد سرریز سدهای واقع در حوضه‌هایی با پوشش جنگلی توسط جریان آواری در مواقع سیلابی و در دبی‌های بالا روی داده و باعث اختلال در عملکرد مناسب سرریزها می‌شوند، لذا بررسی احتمال انسداد روی این دسته از سرریزها ضروری به نظر می رسد. لذا در تحقیق حاضر به بررسی احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای دو سیکل پرداخته شده است. با توجه به مطالعه‌های انجام شده در این زمینه، مشاهده گردید که موضوع تجمع اجسام شناور و مشکلات ناشی از آن تنها به‌صورت محدود در سرریزهای کلید پیانویی مورد بررسی قرار گرفته، و تأثیر میزان ضریب قدکشیدگی اجسام شناور موجود در جریان بر میزان تجمع اجسام شناور مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این تحقیق به بررسی میزان احتمال انسداد اجسام شناور در نوع جدیدی از سرریزهای غیرخطی مدور قائم موسوم به سرریز تاج دندانه ای دو سیکل که نسبت به سایر سرریزهای مشابه دارای قدرت گرداب شکنی و ظرفیت تخلیه بالاتری می‌باشند، اقدام گردیده است. هم‌چنین به منظور شبیه‌سازی جریان آواره‌ای واقعی موجود در طبیعت در محیط آزمایشگاهی و بررسی تأثیر ضریب قدکشیدگی اجسام شناور بر میزان احتمال انسداد، با توجه به نواحی رویشی مختلف موجود در کشور از سه نوع ضریب قدکشیدگی متفاوت استفاده گردیده است.

مواد روش‌ها

هدف از پژوهش حاضر بررسی حساسیت سرریزهای تاج‌دندانه‌ای دو سیکل در مقایسه با سرریز نیلوفری در مواجهه با چوب‌های شناور و تأثیر ضریب قدکشیدگی بر احتمال انسداد اجسام شناور می‌باشد. شکل (۱) اجزای یک سرریز تاج‌دندانه‌ای دو سیکل را نشان می‌دهد. همان‌طوری‌که در شکل مشاهده می‌شود این نوع

سرریز از دو کلید ورودی و خروجی تشکیل شده است که هر یک به نوبه خود به شکلی خاص وظیفه تخلیه جریان را بر عهده دارند. کلیه آزمایش‌های این پژوهش روی یک فلوم در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و مهندسی رودخانه دانشگاه صنعتی جندی شاپور به اجرا درآمد. آزمایش‌ها در فلومی به طول شش متر، ارتفاع یک متر و عرض یک متر انجام گرفتند. برای اندازه‌گیری دبی ورودی به مخزن از یک دستگاه دبی سنج الکترومغناطیس با دقت بالا ساخت شرکت مگاب که در مسیر خط لوله انتقال آب از سیستم پمپاژ به مخزن بالادست قرار گرفته، استفاده شد. همچنین با استفاده از یک عمق سنج با دقت یک‌دهم میلی‌متر که برروی مخزن نصب شده ارتفاع آب در داخل مخزن و برروی سرریز اندازه گیری گردید.

شکل (۲) نمای کلی از فلوم آزمایشگاهی و سرریزهای مورد استفاده و موقعیت نصب آن‌ها را نشان می‌دهد. برای بررسی پتانسیل تله اندازی سرریزهای تاج دندانه‌ای در مقایسه با سرریزهای نیلوفری و هم‌چنین تأثیر ضریب قد کشیدگی بر احتمال اتسداد اجسام شناور، سناریوهای مختلفی از نظر شیب کلیدهای ورودی و خروجی و نسبت طول به قطر مختلف چوب‌های شناور در نظر گرفته شد. برای این منظور پارامتری تحت عنوان ارتفاع نسبی (P/D) تعریف گردید که در آن (P) ارتفاع سرریز و (D) قطر دهانه داخلی سرریز تاج دندانه‌ای می‌باشد. بررسی تغییرات ارتفاع نسبی سرریز به نوعی نماینده تغییرات شیب کلیدهای ورودی و خروجی می‌باشد. برای این منظور سه سناریوی کلی با ارتفاع نسبی معادل ۰/۵، ۱ و ۱/۵ در نظر گرفته شد.

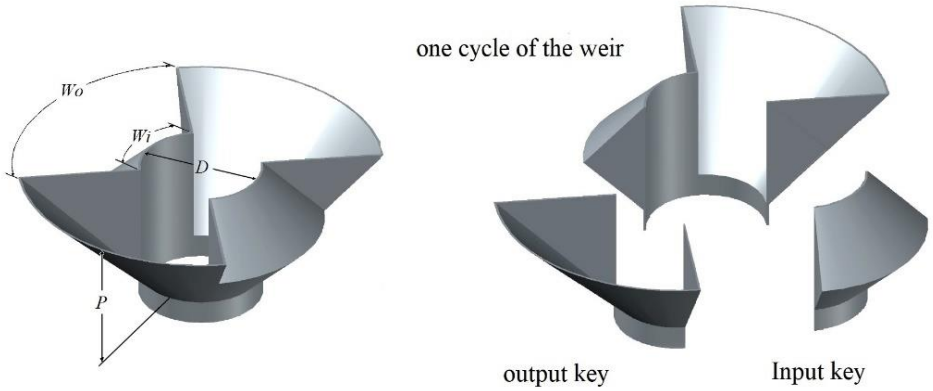


Fig. 1- Geometric parameters and components of two-cycle circular piano key weir
شکل ۱- پارامترهای هندسی و اجزا تشکیل دهنده سرریز تاج‌دندانه‌ای دو سیکل



Fig. 2- The laboratory system and overflow models used
شکل ۲- نمایی از سیستم آزمایشگاهی و مدل‌های سرریز مورد استفاده

DOI: 10.22055/JISE.2017.22015.1575

در گام بعدی به‌منظور شناسایی پارامترهای مؤثر بر احتمال انسداد سرریزهای تاج دندانه‌ای نسبت به دسته بندی پارامترهای مؤثر بر فضای پژوهش اقدام گردید. بررسی‌ها نشان داد که پارامترهای مؤثر را می‌توان از نقطه نظر خصوصیات سیال، خصوصیات جریان، و مشخصات هندسی سرریز و چوب‌های شناور به صورت زیر لیست نمود:

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

خصوصیات مربوط به جریان: عمق جریان در شرایط بدون آوار (h_o)، عمق جریان در شرایط آواری (h_d)، سرعت نزدیک شونده به سرریز (v) و شتاب ثقل (g)

خصوصیات هندسی آوار شناور: طول چوب‌ها (L_d)، قطر چوب‌ها (D_d)

خصوصیات هندسی سرریز: قطر وردی لوله آبگیر (D_i)، طول موثر سرریز (L)، ارتفاع سرریز (P)، عرض دهانه ورودی (W_i) و عرض دهانه خروجی (W_o)

تابع هدف بر اساس احتمال انسداد (π)، که برابر است با نسبت تعداد قطعات چوبی شناور باقی‌مانده روی سرریز به تعداد کل قطعات شناور اضافه شده به بالادست، تعریف شد. با توجه به اینکه مقادیر (W_i) عرض کلید ورودی و (W_o) عرض کلید خروجی در هر یک از سناریوها به‌صورت انفرادی و در زیر سناریوی مربوطه ثابت منظور شده است لذا می‌توان از اثر آن صرف‌نظر نمود. در نتیجه تابع کلی زیر را می‌توان بین پارامترهای مؤثر در این تحقیق نوشت:

$$f(D_i, L, P, L_d, D_d, h_o, h_d, v, g, \rho, \mu, \sigma, \pi) = 0 \qquad (۱)$$

پس از تعیین پارامترهای مؤثر و با استفاده از تئوری $\boldsymbol{\pi}$- باکینگهام می‌توان معادله حاکم بر فضای تحقیق را به‌منظور بررسی احتمال انسداد در سرریز مدور قائم با ورودی تاج دندانه‌ای به‌صورت معادله زیر نشان داد:

$$f\left(\frac{h_d}{h_o}, \frac{h_o}{P}, \frac{L_d}{h_o}, \frac{D_d}{h_o}, \frac{\mu}{\rho v h_0}, \frac{\sigma}{\rho v^2 h_0}, \pi\right) = 0 \qquad (۲)$$

که در آن $\rho v h_o/\mu$ معرف عدد رینولدز، معرف عدد وبر $\rho v^2 h_o/\sigma$می‌باشد. بنابراین رابطه (۲) به‌صورت زیر بازنویسی می‌گردد.

$$\pi = f(Re, We, \frac{h_0}{P}, \frac{h_d}{h_0}, \frac{L_d}{h_o}, \frac{D_d}{h_o}) \qquad (۳)$$

مطابق با شکل (۳) طول و قطرهای مختلف چوب‌های شناور برای دستیابی به ابعاد مناسب استفاده گردید تا ارتباط موجود بین دبی جریان و اندازه چوب‌ها در شرایط آزمایشگاهی مطابق با شرایط طبیعت باشد. که مشخصات نمونه‌های چوب مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول (۱) ارائه شده است.

مطابق با برنامه ریزی انجام شده این تحقیق بر مبنای آزمایش های انفرادی پایه گذاری شده است. آزمایش‌های انفرادی بدین معنا است که در دبی‌های مختلف و برای سرریزهای مختلف تعداد ۲۰ تا ۲۵ عدد از هر نوع چوب مطابق جدول (۱) انتخاب کرده، و پس از ایجاد عمق آب مورد نظر در روی سرریز یک دسته از چوب‌ها را در منتهی علیه بالادست سرریز و به طور تصادفی رها می‌شوند. در هر مرحله از آزمایش بعد از توقف نمونه‌ها در مجاورت و یا روی سرریز، مدت زمانی برابر با ۲۰ دقیقه زمان ماند درنظر گرفته شد تا اطمینان حاصل گردد که نمونه‌های انسداد یافته روی سرریز دیگر حرکت نخواهند کرد، این زمان با توجه به آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه به‌دست آمده است. در این مرحله تعداد چوب‌های عبور کرده و بلوکه شده روی سرریز شمارش شده و مشخصات جریان اعم از دبی و عمق آب روی سرریز ثبت می‌شود. دستور کار آزمایش‌ها بر این اساس تدوین شده بود که برای وارد کردن دسته بعدی، ابتدا دسته قبلی از پشت سرریز و مخزن جمع‌آوری شود. آزمایش‌های انفرادی برای ۱۳ نوع چوب مختلف موجود و هر سه نوع سرریز با ارتفاع‌های مختلف از دبی برابر با ۰/۵ لیتر بر ثانیه شروع شده و تا مرحله‌ای که همه چوب‌های اضافه شده رد شوند (معمولاً تا دبی ۱۲/۶ لیتر بر ثانیه) ادامه پیدا می‌کرد. شکل (۴) نمونه‌ای از انسداد ایجاد شده در سرریزهای تاج دندانه‌ای دو سیکل را در مواجهه با اجسام شناور با ضریب قدکشیدگی ۲۰ نشان می‌دهد. در این تحقیق تقریبا ۵۰۰ مرحله آزمایش صورت گرفته است که نتایج حاصل از آن در ادامه ذکر خواهد شد.

جدول۱- مشخصات نمونه چوب‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر

Table 1- Specifications of wood samples used in the present study

Specifications	Category number												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$D_d(mm)$	1.7	1.25	1	1.4	1	0.8	1	0.75	0.6	0.7	0.5	0.5	0.4
$L_d(cm)$	25	25	25	20	20	20	15	15	15	10	10	10	5

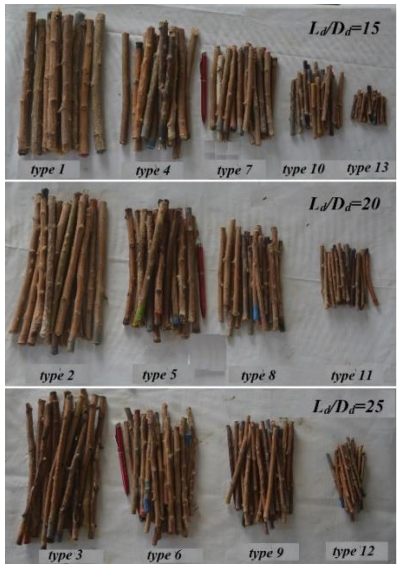
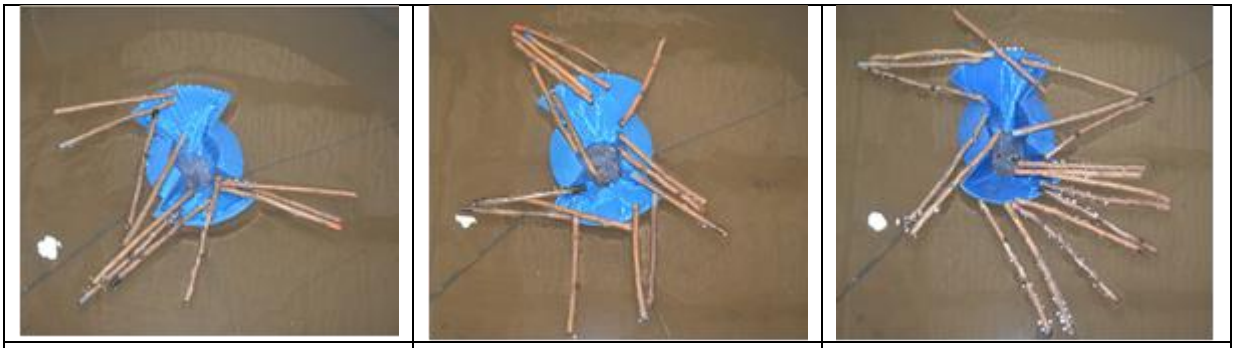


Fig. 3- The classification of wood used with different Slenderness Coefficient
شکل ۳- نمایی از دسته بندی چوب‌های مورد استفاده با نسبت های ضریب قدکشیدگی مختلف



weir with relative height 0.5, π=0.44 and Q=2.485 Lit/sec	weir with relative height 1, Q=2.63 π=0.63 and Lit/sec	weir with relative height 1.5, π=0.76 and Q=2.548 Lit/sec

Fig. 4- The blockage created in the circular piano key weir
شکل ٤- نمایی از انسداد ایجاد شده در سرریزهای مورد استفاده

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایش‌ها و غربالگری داده‌های آزمایشگاهی، تجزیه و تحلیل‌های لازم صورت پذیرفت. آزمایش‌ها با تغییر دبی جریان (Q) از ۰/۵ الی ۱۲/۶ لیتر بر ثانیه انجام شد. در راستای بررسی احتمال انسداد تحت اجسام شناور با ضریب قدکشیدگی مختلف، تعداد چوب‌های به دام افتاده در مخزن در دبی‌های تقریباً یکسان و در سرریزهای با ارتفاع نسبی مختلف (P/D) برابر با ۰/۵، یک و ۱/۵ مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. برای بررسی پدیده انسداد در این سرریزها از پارامتر بی بعدی به‌عنوان احتمال انسداد (π) استفاده شد، که برابر با تعداد چوب‌های مانده روی سرریز به کل چوب‌های اضافه شده به جریان می‌باشد. و به‌منظور بررسی روند تغییرات احتمال انسداد در مقابل بارآبی روی سرریز به هنگام حضور اجسام شناور در مخزن، مقادیر احتمال انسداد واریزه‌ها در مقابل قطر نسبی(D_d/H_o) و طول نسبی (L_d/H_o) واریزه‌ها ترسیم گردید. این کار تحت کلیه سناریوهای اصلی ارتفاع نسبی سرریز (P/D) (به‌منظور بررسی اثر شیب کلیدهای سرریز) و همچنین سناریوهای فرعی تغییر در ضریب قدکشیدگی صورت پذیرفت. در شکل (۵) تغییرات احتمال انسداد سرریز تاج‌دندانه‌ای دو سیکل در نسبت‌های ضریب قدکشیدگی برابر با ۱۵، ۲۰ و ۲۵ را برای مقادیر مختلف طول و قطر نسبی واریزه‌ها تحت ارتفاع نسبی ۰/۵ نمایش می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، آهنگ تغییرات خطوط برازش داده شده از بین نتایج آزمایشگاهی برای ضرایب قدکشیدگی ۱۵ و ۲۰ به غیر از احتمال انسداد صفر و یک و در ضریب قدکشیدگی ۲۵ در احتمال انسداد صفر تا ۰/۶ به صورت تقریباً خطی بوده و با افزایش بارآبی نسبی، احتمال انسداد واریزه‌ها کاهش می‌یابد. واریزه‌هایی با ضریب قدکشیدگی بیشتر به دلیل دارا بودن قطر کمتر در طول یکسان نسبت به واریزه‌هایی با ضریب قدکشیدگی کمتر دارای احتمال انسداد بیشتری می‌باشند، که نشان دهنده تأثیر قطر واریزه بر احتمال انسداد آن‌ها می‌باشد. به‌طور مشابه تحلیل یکسانی در خصوص بررسی احتمال انسداد تحت سرریزهایی با احتمال نسبی یک در شکل (۶) و ارتفاع نسبی ۱/۵ در شکل (۷) به تصویر کشیده

DOI: 10.22055/JISE.2017.22015.1575

شده‌اند. مقایسه بخش‌های مختلف در شکل‌های (۵) الی (۷) نشان می‌دهد که صرف‌نظر از تغییر میزان ضریب قدکشیدگی واریزه‌ها، افزایش ارتفاع نسبی سرریز منجر به تشدید احتمال انسداد و به تبع آن افزایش میزان بارآبی روی سرریزها شده است. وقوع این امر به نوع واریزه‌ها وابسته نبوده و برای هر نوع واریزه‌ای محتمل است. سرریزهای با ارتفاع نسبی بیشتر، از دو نقطه نظر از احتمال انسداد بیشتری برخوردار هستند. در نقطه نظر اول به واسطه برخورداری از ضریب تخلیه بیشتر در شرایط یکسان باعث کاهش بار آبی روی سرریز و به تبع آن کاهش مومنتم جریان عبوری از روی سرریز می‌شوند. این امر باعث کاهش مقدار نیروی وارده به چوب‌های شناور برای عبور از سرریز و به موجب آن افزایش احتمال انسداد می‌گردد. از نقطه نظر دیگر، افزایش ارتفاع نسبی سرریز منجر به مرتفع شدن دیواره‌های کلید خروجی می‌شود. که این امر نیز می‌تواند احتمال انسداد سرریز را در مواجهه با اجسام شناور افزایش دهد. بنابر نتایج این پژوهش اندرکنش ضریب قدکشیدگی واریزه‌ها و نسبت ارتفاع سرریز به قطر شفت قائم (P/D) تأثیر به‌سزایی درمیزان احتمال انسداد سرریز تاج‌دندانه‌ای دو سیکل دارد، به‌طوری که میزان احتمال انسداد در سرریزهای تاج¬دندانه‌ای با افزایش ضریب قدکشیدگی، روندی کاهشی داشته و میزان احتمال انسداد در سرریزهای با ارتفاع یکسان در ضریب قدکشیدگی ۱۵ بیشتر از مقدار آن به‌ترتیب در نسبت‌های ۲۰ و ۲۵ می‌باشد. هم‌چنین در تمامی ضرایب قدکشیدگی، افزایش نسبت (P/D) باعث افزایش احتمال انسداد می‌شود. از مقایسه مقادیر احتمال انسداد در سناریوهای مختلف می¬توان به این نتیجه رسید که با تغییر ضریب قدکشیدگی از ۱۵ به ۲۰ میزان احتمال انسداد واریزه‌ها در سرریزهای با نسبت (P/D) به‌ترتیب برابر با ۰/۵، ۱ و ۱/۵ به‌طور متوسط کاهش ۶/۹، ۴/۷ و ۴/۳ درصدی داشته و هم‌چنین تغییر ضریب قدکشیدگی از ۱۵ به ۲۵ بطور متوسط منجر به کاهش ۱۸/۸، ۱۷/۳ و ۱۲/۹ درصدی میزان احتمال انسداد در سرریزهای با نسبت (P/D) ب‌ترتیب برابر با ۰/۵، ۱ و ۱/۵ گردیده است.

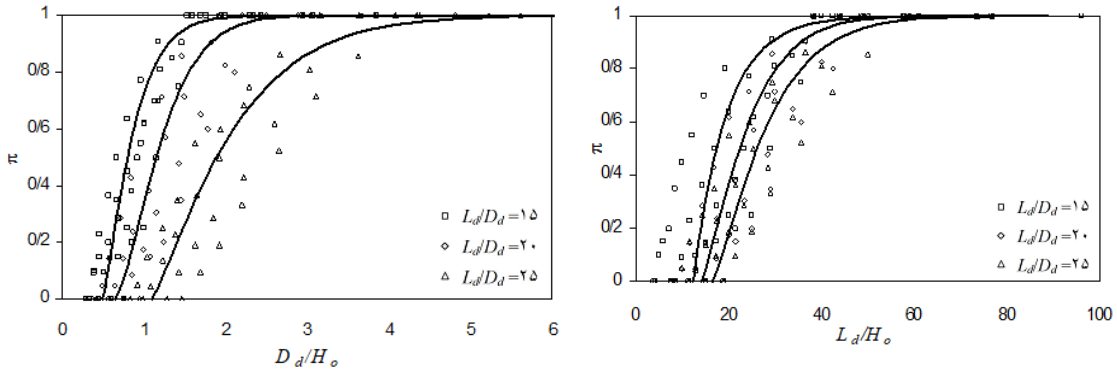


Fig. 5- The process of changes in the blockage probility in the circular piano key weir with a relative height of 0.5 versus changes in the relative diameter and relative length of floating debrise

شکل ۵- روند تغییرات احتمال انسداد (π) سرریز تاج دندانه‌ای با ارتفاع نسبی (*P/Di*) برابر ۰/۵ در برابر تغییرات قطر و طول نسبی اجسام شناور

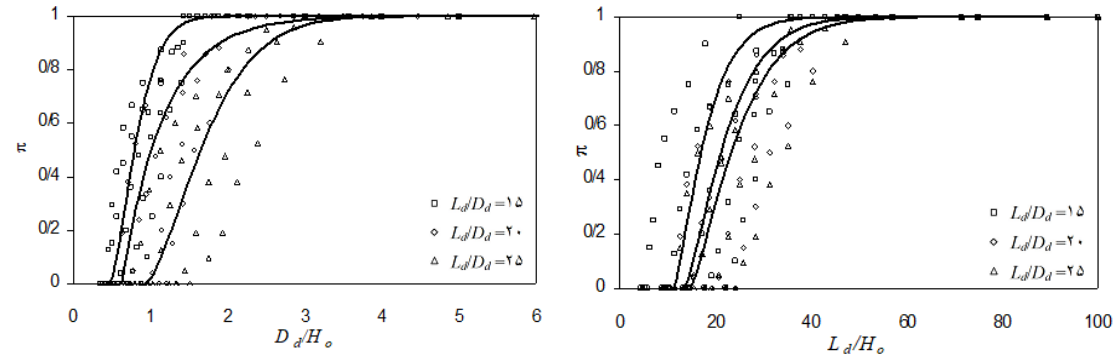


Fig. 6- The process of changes in the blockage probility in the circular piano key weir with a relative height of 1 versus changes in the relative diameter and relative length of floating debrise

شکل ٦- روند تغییرات احتمال انسداد (π) سرریز تاج دندانه‌ای با ارتفاع نسبی (*P/Di*) برابر ۱ در برابر تغییرات قطر و طول نسبی اجسام شناور

شکل‌های (۷) الی (۹) به‌ترتیب روند تغییرات احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای را نسبت به احتمال انسداد سرریز نیلوفری (π_{Cr}/π_{gl}) در مقابل طول و قطر نسبی واریزه‌ها برای ضرایب قدکشیدگی مختلف نشان می‌دهند. این مقایسه به‌ترتیب در ارتفاع‌های نسبی P/D معادل یک و ۱/۵ نمایش داده شده‌اند. لازم به ذکر است که به‌دلیل عدم امکان ساخت سرریز نیلوفری در ارتفاع نسبی (P/D) معادل ۰/۵ به‌دلیل کوتاهی بیش از حد مجاز آن، امکان مقایسه در حالت یاد شده میسر نگردید. ارزیابی نتایج نشان داد که به ازای کلیه ضرایب قدکشیدگی اجسام شناور، احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای به نیلوفری در کلیه موارد بیشتر از یک می‌باشد، و در بهترین حالت احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای سه برابر سرریز نیلوفری گزارش گردید. این بدان مفهوم است که سرریز تاج دندانه‌ای از پتانسیل بیشتری برای به دام انداختن واریزه‌ها برخوردار است، که مانع از گذر آن‌ها به سمت پایین دست و مسدود شدن مجرای انتقال آب و وارد آمدن خسارات به تجهیزات هیدرولیکی موجود در مجرای انتقال می‌گردد. لازم به ذکر است که پیشی گرفتن احتمال انسداد توسط سرریز تاج دندانه‌ای در مقابل سرریز نیلوفری مدیون وجود کلیدهای ورودی و خروجی این سرریز می‌باشد. هم‌چنین ضریب تخلیه بیشتر سرریز تاج دندانه‌ای در مقابل با سرریز نیلوفری باعث کاهش بارآبی روی سرریز می‌شود، که این مسأله موجب کاهش مقدار مومنتم جریان وارده به واریزه‌ها می‌شود، که باعث افزایش احتمال انسداد آن‌ها در سرریز تاج دندانه‌ای خواهد شد. بنابراین این سرریزهای می‌توانند در شرایط مورد آزمون جایگزین مناسبی برای سرریزهای نیلوفری محسوب شوند.

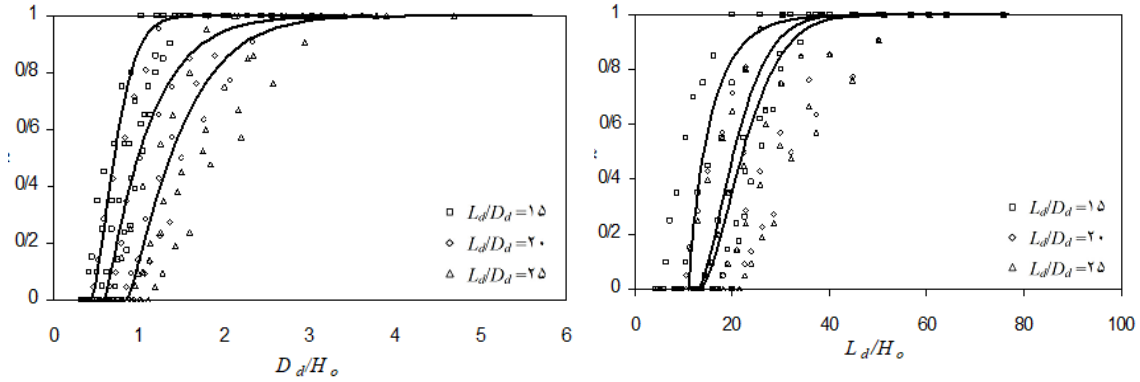


Fig. 7- The process of changes in the blockage probility in the circular piano key weir with a relative height of 1.5 versus changes in the relative diameter and relative length of floating debrise

شکل ۷- روند تغییرات احتمال انسداد (π) سرریز تاج دندانه‌ای با ارتفاع نسبی (P/Di) برابر ۱,۵ در برابر تغییرات قطر و طول نسبی اجسام شناور

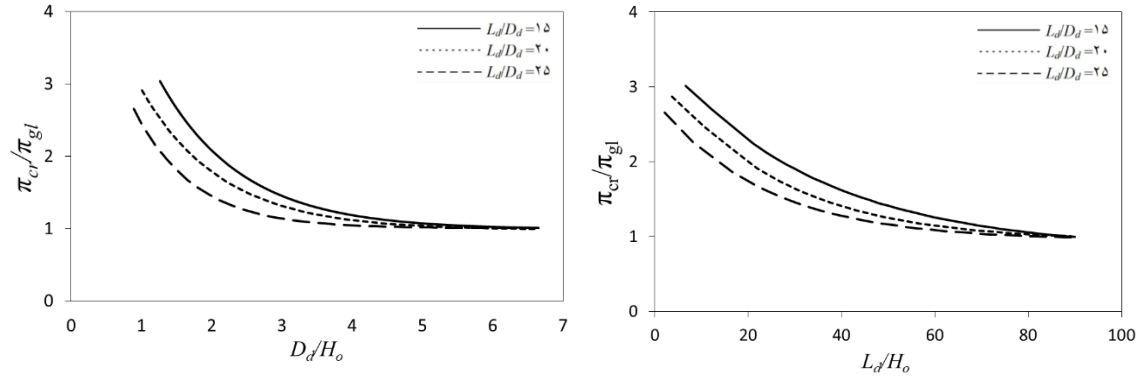


Fig 8- Comparison of the the blockage probility in the circular piano key weir versus morning glory spilway with a relative height of 1.5 versus changes in the relative diameter and relative length of floating debris

شکل ۸- مقایسه احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای نسبت به سرریز نیلوفری در ارتفاع نسبی ۱/۵ در برابر تغییرات پارامتر طول نسبی و قطر نسبی اجسام شناور

 DOI: 10.22055/JISE.2017.22015.1575

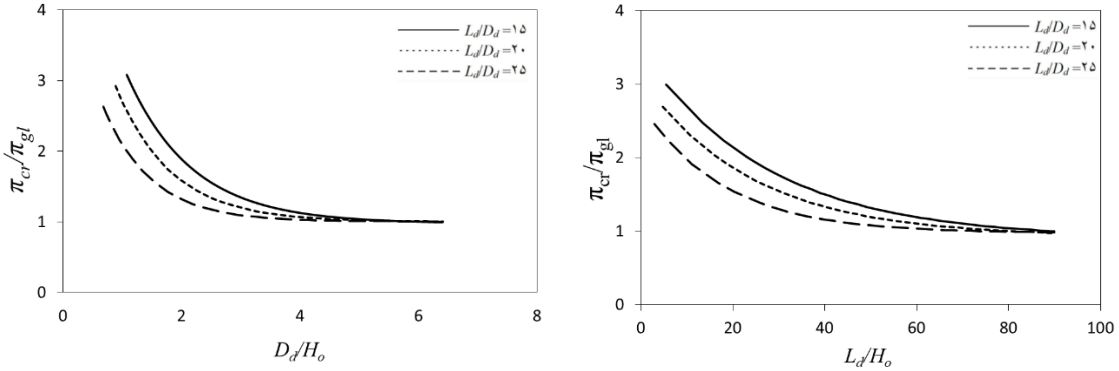


Fig 9- Comparison of the The blockage probility in the circular piano key weir versus morning glory spilway with a relative height of 1 versus changes in the relative diameter and relative length of floating debrise

شکل ۹- مقایسه احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای نسبت به سرریز نیلوفری در ارتفاع نسبی ۱ در برابر تغییرات پارامتر طول نسبی و قطر نسبی اجسام شناور

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی میزان انسداد سرریزهای تاج دندانه‌ای دو سیکل پرداخته شده است. بررسی‌های صورت گرفته در این پژوهش در راستای تغییرات ضریب قدکشیدگی چوب‌های شناور از یکسو و تغییر در میزان ارتفاع نسبی این نوع سرریزها تحت شرایط مختلف هیدرولیکی متمرکز گردیده است. نتایج نشان داد که در سرریزهای با ارتفاع نسبی بیشتر، به‌دلیل برخورداری از دیواره‌های کلید خروجی بلندتر، شرایط افزایش احتمال انسداد را تسهیل می‌نمایند. در واقع قدرت گرداب شکنی سرریزهای تاج دندانه‌ای دو سیکل به‌عنوان یک عامل کلیدی در این راستا ایفای نقش می‌نماید. مقایسه احتمال انسداد سرریز تاج دندانه‌ای دو سیکل در مقایسه با سرریز نیلوفری حاکی از آن است که به‌هنگام مواجه‌ی این دو نوع سرریز با جریان‌های آواره‌ای سرریز تاج دانداندانه‌ای دو سیکل از بهبود عملکرد قابل توجه‌ای برخوردار است، به‌گونه‌ای که در بهترین شرایط میزان احتمال انسداد در آن تا سه برابر سرریز نیلوفری از خود افزایش نشان می‌دهد. لذا می‌توان نتیجه گرفت که چنانچه تأسیسات دهانه‌ی آبگیر منصوبه در مجاورت رودخانه‌ای وظیفه‌ی آبگیری و یا تخلیه آب مازاد را بر عهده دارد، استفاده از دهانه‌ی ورودی تاج دندانه‌ای در آنها می‌تواند کمک شایانی به افزایش ضریب تخلیه جریان، افزایش قدرت گرداب شکنی و جلوگیری از ورود چوب ها و آشغال‌های شناور به مجرای انتقال آب بنماید.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه صنعتی جندی شاپور به پاس فراهم نمودن امکان استفاده از آزمایشگاه هیدرولیک و مهندسی رودخانه و همچنین تأمین منابع مالی کمال تشکر و قدردانی را می‌نمایند.

References

1- Lashkar-Ara, B. and Sheikhi, Y., 2017. Introduce of CPK Spillway and Study of Its Discharge Coefficient under Free Flow Regime. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(2), pp.209-221. (In Persian).

2- Laugier, F., 2007. Design and construction of the first Piano Key Weir spillway at Goulours dam. *Hydropower& Dams*, 14(5), pp. 94–100.

3- Leite Ribeiro, M., Pfister, M., Schleiss, A. and Boillat, L., 2012. Hydraulic design of A-type piano Key Weirs. *Journal of Hydraulic Research*, 50(4), pp. 400-408.

4- Mansouri, K. and Ahadiyan, J., 2015. Blockage of Piano Key Weirs in Debris Flow with Individual Experiments. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(3), pp.163-172. (In Persian).

5- Ouamane, A., and Lempérière, F., 2006. Design of a new economic shape of weir. *International Symposium on Dams in the Societies of the XXI Century*, Barcelona, Spain.

6- Pfister, M., Capobianco, D., Tullis, B. and Schleiss, A., 2013a. Debris Blocking Sensitivity of Piano Key Weirs Under Reservoir Type Approach Flow. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2013. 139, pp.1134-1141.

7- Pfister, M., Schleiss, A. and Tullis, B., 2013b. Effect of driftwood on hydraulic head of Piano Key Weirs. *in Labyrinth and Piano Key Weirs II* – PKW 2013. S. Erpicum, F.

8- Poshteh-Shirani, M., Rahimpour, M. and Ahmadi, M.M., 2016. Effects of Nose and Piano Keys Weir Parapet Wall on Floating Woody Debris. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(3), pp.99-107. (In Persian).

9- Rouhanipoor, K. and Lashkar-Ara, B., 2017. Evaluating the Impact of the Decline in the Swirling Flow on Discharge Capacity in Two Cycle Crown Wheel Weirs. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(69), pp.93-106

10- Saunders, S. and Oppenheimer, M.L., 1993. A Method of Managing Floating Debris. *Hydraulic Engineering 1993*, ASCE, pp 1373-1378.

11- Schmocker, L. and Hager, W.H., 2013. Scale modeling of wooden debris accumulation at a debris rack. *Journal of Hydraulic Engineering*. Vol. 139, No.8, pp.827-836.

12- Shemshi, R. and Kabiri-Samani, A., 2017. Swirling flow at vertical shaft spillways with circular piano-key inlets. *Journal of Hydraulic Research*, 55(2), 248-258.

13- Sogreah., 2011. Modèle physique du barrage de Luzieres [Physical model of the Luzieres Dam]. Report 136 0 886, SOGREAH (*Now: The ARTELIA Engineering Company*), France (in French, not published).

14- Zevenbergen, L.W., Lagasse, P.F., and Clopper, P.E., 2006. Effects of Debris on Bridge Pier Scour. *Proceeding of 3th International Conference on Scour and Erosion*, Amsterdam, The Netherlands, pp.741-749.