Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Investigation of the hydraulic jump characteristics in the bed of a basins with ripple bed form at different arrangement

Mahmood Shafai Bejestan[1], Ahmad Shayei[2], Mehdi Zeinivand[*3], Mohammad Bahrami Yarahmadi[4]

1. Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m_shafaeibejestan@scu.ac.ir
2. M.Sc. Student of Water and Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: ahmad1373123@gmail.com
3. Corresponding Author, Assistant Prof., Dept. of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.zeinivand@scu.ac.ir
4. Assistant Prof., Dept. of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: m.bahrami@scu.ac.ir

Article Info

Article type:
Short Technical Report

Article history:
Received: 05.10.2022
Revised: 09.14.2022
Accepted: 09.08.2022

Keywords:
Energy dissipation,
Hydraulic jump,
Hydraulic jump length,
Ripple,
Rolling jump

ABSTRACT

Background and Objectives: Downstream of grade control structures in watershed engineering, it is necessary to create a hydraulic jump to dissipate excess energy to prevent the destruction of the structure. A roughened bed of stilling basins of the hydraulic jump type to increase the amount of energy loss and reduce the length of the hydraulic jump can lead to economic savings in watershed management. In this study, a new type of roughness, which is similar to the appearance of the ripple bed in alluvial rivers, was experimentally investigate to increase the energy loss, reduce the stilling basin length and to prevent sedimentation in between the rough elements.

Materials and Methods: The experiments of this research were carried out in a rectangular flume with width, height and length of 0.3, 0.4 and 12 meters respectively. Five different arrangements of the bed form along with a case of no bed form were tested under five different Froude numbers, Fr= 3.5 to 5.5. An Ogee weir with a height of 32 cm was installed 3 meters downstream of the flume inlet to create a hydraulic jump, and the minimum flow depth on the crest of the weir was set to be more than 3 cm to avoid the effect of surface tension. During the experiment, the water level profiles at the hydraulic jump site were measured by a point gauge with an accuracy of ±1 mm. During the experiment, digital photos were also taken and the required data was extracted by digitizing these photos. The average flow depth measured and extracted from the photos was used in the analysis to reduce the error. Rolling length, jump length and water surface profile were measured in each experiment and repeated three times. These lengths were also extracted from the photos and the average values were used in the analysis.

Results and Conclusion: The results of the investigation of the variation of the ratio of conjugate depths versus Fr for all types of the bed forms showed that by changing the layout of the bed form from type 1 to type 4 of the current study, the ratio of conjugate depths (y2/y1) decreases. A maximum decrease of 10.2% was observed for the type 4 bed form compared to the case of no bed form. The variation of relative energy loss

(ΔE/E1) versus Fr also showed that by changing the layout of the bed form, the ratio of ΔE/E1 increases, and in the type 4 bed form, compared to the control bed form, a maximum of 23% increase in energy loss was observed. In the investigation of the relative length of the hydraulic jump (Lj/Y2) and also the relative roller length of the jump (Lr/Y2), it was observed that by changing the bed form from type 1 to type 4, the ratio Lj/Y2 and Lr/Y2 decreases and the maximum reduction in comparison to the case of no bed form, was found in the type 4 bed form, which was in the order of 32% and 34% respectively.

Cite this article: Shafai Bejestan, Mahmood, Shayei, Ahmad, Zeinivand, Mehdi, Bahrami Yarahmadi, Mohammad. 2022. Investigation of the hydraulic jump characteristics in the bed of a basins with ripple bed form at different arrangement. *Journal of Water and Soil Conservation*, 29 (3), 113-122.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2023.20209.3553
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی حوضچه آرامش با بستر ریپل در قرارگیری‌های مختلف

محمود شفاعی بجستان[۱]، احمد شایعی[۲]، مهدی زینی‌وند*[۳]، محمد بهرامی یاراحمدی[٤]

۱. استاد دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m_shafaeibejestan@scu.ac.ir
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: ahmad1373123@gmail.com
۳. نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.zeinivand@scu.ac.ir
٤. استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران. رایانامه: m.bahrami@scu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
گزارش کوتاه علمی

تاریخ دریافت: ۰۱/۰۲/۲۰
تاریخ ویرایش: ۰۱/۰٦/۲۳
تاریخ پذیرش: ۰۱/۰٦/۱۷

واژه‌های کلیدی:
افت انرژی،
پرش هیدرولیکی،
ریپل،
طول پرش هیدرولیکی،
طول غلطابی

چکیده

سابقه و هدف: در پایین‌دست سازه‌های کنترل شیب در مهندسی آبخیزداری نیاز به ایجاد پرش هیدرولیکی برای استهلاک انرژی اضافی برای جلوگیری از تخریب سازه ضروری است. حوضچه‌های آرامش از نوع پرش هیدرولیکی با بستر زبر جهت افزایش میزان افت انرژی و کاهش طول پرش هیدرولیکی می‌تواند به‌صرفه اقتصادی در امور آبخیزداری منجر گردد. در پژوهش حاضر یک نوع جدیدی از زبری که مشابه ظاهر فرم بستر ریپل در رودخانه‌های آبرفتی است، جهت کاهش طول پرش هیدرولیکی و افزایش افت انرژی و جلوگیری از نهشته شدن رسوب بین زبری‌ها مورداستفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌های این پژوهش در فلوم مستطیلی به عرض، ارتفاع و طول به ترتیب ۰/۳، ۰/٤ و ۱۲ متر انجام شد. پنج آرایش مختلف از فرم بستر به همراه فرم بستر شاهد در پنج عدد فرود مختلف از ۳/۵ تا ۵/۵ انجام شد. یک سرریز از نوع Ogee به ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر در فاصله ۳ متری پایین‌دست ورودی فلوم جهت ایجاد پرش هیدرولیکی نصب شد و حداقل عمق جریان بر روی تاج سرریز بیش از ۳ سانتی‌متر تنظیم شد تا از اثر کشش سطحی جلوگیری شود. در طول آزمایش، پروفیل‌های سطح آب در محل پرش هیدرولیکی توسط یک عمق‌سنج با دقت ۱± میلی‌متر اندازه‌گیری شد. طی آزمایش، عکس‌های دیجیتالی نیز گرفته شد و داده‌های موردنیاز با رقومی کردن این عکس‌ها استخراج شد. میانگین عمق جریان اندازه‌گیری شده و استخراج‌شده از عکس‌ها در تجزیه‌وتحلیل برای کاهش خطا استفاده شد. طول غلطابی، طول

پرش و نیمرخ سطح آب در هر آزمایش اندازه‌گیری شد و سه بار تکرار شد. این طول‌ها نیز از عکس‌ها استخراج‌شده و از مقادیر میانگین در آنالیز استفاده شده است.

نتایج و بحث: نتایج بررسی تغییر نسبت اعماق مزدوج نشان داد که با تغییر چیدمان فرم بستر از تیپ ۱ الی تیپ ٤ پژوهش حاضر، نسبت اعماق مزدوج پرش هیدرولیکی کاهش می‌یابد. این تغییر به‌گونه‌ای است که در فرم بستر نوع ٤ در مقایسه با فرم بستر شاهد حداکثر به میزان ۱۰/۲ درصد کاهش مشاهده شد. بررسی تغییر افت انرژی نسبی نیز نشان داد با تغییر چیدمان فرم بستر مشابه روند فوق، افت انرژی نسبی افزایش می‌یابد و در فرم بستر نوع ٤ نیز در مقایسه با فرم بستر شاهد حداکثر به میزان ۲۳ درصد افزایش افت انرژی مشاهده شد. در بررسی طول نسبی پرش هیدرولیکی و هم‌چنین طول نسبی غلطابی مشاهده شد با تغییر فرم بستر از نوع ۱ الی نوع ٤ پژوهش حاضر، طول نسبی پرش هیدرولیکی و طول نسبی غلطابی کاهش یافتند و در فرم بستر نوع ٤ به ترتیب حداکثر به میزان ۳۲ و ۳٤ درصد، در مقایسه با بستر صاف، کاهش یافتند.

استناد: شفاعی بجستان، محمود، شایعی، احمد، زینی‌وند، مهدی، بهرامی یاراحمدی، محمد (۱۴۰۱). بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی حوضچه آرامش با بستر ریپل در قرارگیری‌های مختلف. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹ (۳)، ۱۲۲-۱۱۳.
DOI: 10.22069/jwsc.2023.20209.3553

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

کنترل آورد رسوب و نیز کاهش سرعت جریان در آبراهه‌های کوهستانی با شیب تند، نیازمند احداث سازه‌های کنترل شیب مانند سدهای اصلاحی یا سازه‌های آبشار قائم، آبشار مایل و نظایر آن است. جریان در پایین‌دست سازه‌ها دارای انرژی جنبشی زیادی است که می‌تواند منجر به آب‌شستگی و تخریب سازه گردد. ازاین‌رو روشی برای استهلاک انرژی جنبشی ضروری است که پرش هیدرولیکی ازجمله روش‌های معمول است. یکی از پارامترهای مهم پرهزینه این سازه طول آن است که برابر طول پرش هیدرولیکی انتخاب می‌شود. جهشی که در یک کانال مستطیلی مستقیم و عریض افقی با کف صاف شکل می‌گیرد، جهش هیدرولیکی کلاسیک نامیده می‌شود (۱). Rajaratnam (۱۹٦۸) اولین مطالعات سیستماتیک را در خصوص پرش بر روی بستر زبر انجام داد (۲). این مطالعات نشان داد طول غلطابی و طول پرش بر روی بسترهای زبر به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. بنابراین از این موضوع این‌گونه برداشت می‌شود که پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر، برتری قابل‌توجهی را نسبت به پرش کلاسیک دارا می‌باشند. Ead و Rajaratnam (۲۰۰۲) در مطالعه‌ای جامع به بررسی پرش هیدرولیکی بر روی بستر مواج پرداختند (۳). در این مطالعه پارامترهای اعماق مزدوج، طول پرش هیدرولیکی، طول غلطابی و تنش برشی بستر موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت. سپس با اندازه‌گیری پروفیل سرعت در مقاطع مختلف، نتایج نشان داد که بستر مواج توانایی بسیار بالایی در استهلاک انرژی دارا می‌باشد. Izadjoo و Shafai Bejestan (۲۰۰۷) در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی اثر مواج بودن بستر بر میزان افت انرژی در پرش هیدرولیکی پرداختند (٤). در این مطالعه تعداد ٤۲ آزمایش در ٦ فرم بستر در محدوده اعداد فرود ٤ تا ۱۲ انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بستر مواج به میزان ۲۰ درصد در کاهش طول پرش هیدرولیکی مؤثر است. Elevatorski پس از بررسی داده‌های مرجع در زمینه حوضچه‌های آرامش، رابطه ۱ را برای طول پرش هیدرولیکی ارائه داد.

$$L_j = m_s(y_2 - y_1) \qquad (۱)$$

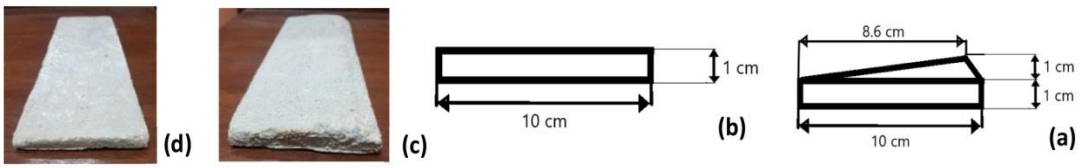
که در آن، m_s تابعی از شیب کف بستر است که برای شیب بستر افقی مقدار m_s =٦/۹ به‌دست آمد. y_2 و y_1 به‌ترتیب عمق جریان در پایین‌دست و عمق جریان در بالادست پرش هیدرولیکی می‌باشند. محاسبات نشان داد که این رابطه دامنه وسیعی از اعداد فرود را دربرمی‌گیرد (۵). Asadi و همکاران (۲۰۱٦) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی با بستر زبر پرداختند (٦). در این مطالعه قطر متوسط ذرات بستر بین ۰/۷٤ تا ٤/۷۵ میلی‌متر و عدد فرود بین ۳/۵ تا ٤/۵ تغییر نمود. آزمایش‌های این پژوهش در فلوم به طول ۵ متر، عرض ۰/۰۷۵ و ارتفاع ۰/۱۷۵ متر و ارتفاع سرریز اوجی ۰/۱۲ متر انجام شد. نتایج این پژوهش نشان داد حداکثر مقدار کاهش عمق نسبی پرش هیدرولیکی در بستر زبر در مقایسه با بستر صاف ۵٦/۷ و میزان افزایش افت انرژی نسبی نیز ٦۹ درصد مشاهده شد.

بررسی منابع نشان می‌دهد که عموم زبری‌ها دارای راستای عمودی بوده به‌طوری‌که کاربرد این نوع زبری در آبراهه‌های آبرفتی باعث می‌شود که به دلیل تجمع رسوبات بین زبری‌ها، اثر زبری‌ها بر مشخصات پرش (کاهش طول و یا عمق پایاب) از بین برود و پایین‌دست سازه دچار آب‌شستگی و منجر به تخریب سازه گردد. یکی از این زبری‌ها که به‌صورت طبیعی در بستر رودخانه شکل می‌گیرد، فرم بستر است.

ازاین‌رو در پژوهش حاضر به بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بستر پوشیده از فرم بستر ریپل پرداخته شد و پارامترهای پرش هیدرولیکی تشکیل‌شده در فرم بسترهای مختلف ترکیب ریپل و صاف مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

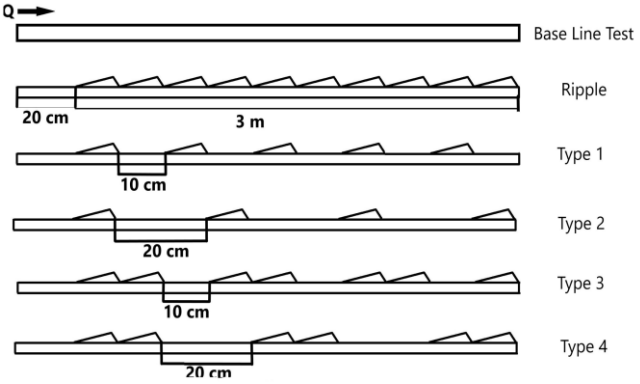
آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز و در یک فلوم مستطیلی مستقیم شیب‌پذیر انجام شد. جنس دیوارهای فلوم از شیشه و طول و عرض فلوم به‌ترتیب برابر ۱۲ و ۰/۳ متر بود. در ابتدای فلوم، یک توری مشبک جهت استهلاک انرژی مازاد جریان نصب‌شده بود. در انتهای فلوم یک دریچه جهت تنظیم عمق جریان قرار داشت. برای اندازه‌گیری دبی جریان از دبی‌سنج اولتراسونیک استفاده گردید. میزان دقت دستگاه به ازای سرعت‌های بزرگ‌تر و مساوی ۰/۵ متر بر ثانیه برابر ۱± درصد میزان قرائت شده و برای سرعت‌های کوچک‌تر از ۰/۵ متر بر ثانیه معادل ۰/۵± درصد میزان قرائت شده بود. دبی جریان توسط یک شیرفلکه که بر روی لوله ورودی به فلوم نصب‌شده بود، تنظیم می‌شد. برای اندازه‌گیری عمق جریان، از یک عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. جهت تهیه فرم بسترهای مختلف ابتدا قطعات شاهد و ریپل ساخته شد. جهت ساخت قطعات ابتدا قالب موردنظر با ابعاد مشخص‌شده در شکل ۱ به عرض فلوم (۳۰ سانتی‌متر) ساخته شد و هر قالب با بتن پر شد و پس از خشک شدن، این قالب‌ها جهت ایجاد فرم بسترهای موردنیاز ساخته و استفاده شد. در شکل ۱ شماتیک مقطع قطعات بافرم بستر ریپل و هم‌چنین نمونه آزمایشگاهی ساخته‌شده نمایش داده شده است.



شکل ۱- شماتیک و تصویر قطعات آزمایشگاهی، الف) شماتیک فرم بستر ریپل، ب) شماتیک فرم بستر شاهد، ج) تصویر نمونه آزمایشگاهی ریپل، د) تصویر نمونه شاهد آزمایشگاهی.

Figure 1. Schematic and image of laboratory parts, a) Schematic of Ripple bed form, b) Schematic of control bed form, c) Ripple laboratory sample image, d) Laboratory control sample image.

پس از ساخت قطعات بتنی و در کنار هم قرار گرفتن آن‌ها و هم‌چنین ترکیب قطعات ریپل با قطعات بستر شاهد، تعداد ٦ فرم بستر ایجاد شد. اولین فرم بستر، بستر صاف بود که آزمایش‌های شاهد بر روی آن انجام شد. دومین فرم بستر صرفاً از قطعات شکل ۱ قسمت (ج) استفاده شد. ٤ فرم دیگر ایجادشده تحت عنوان تیپ ۱ الی ٤ با ترکیب فرم‌های ریپل و صاف در حالات و فواصل مختلف ایجاد شد که تصویر شماتیک این بسترها در شکل ۲ مشاهده می‌شود. این تیپ‌ها به‌گونه‌ای ساخته شدند که اثر فاصله بین قطعات ریپل در آزمایش‌ها دیده شود. فاصله یک سانتی‌متری از بستر نیز به این دلیل لحاظ شد که بتوان از همان جنس ریپل، برای کف فلوم و آزمایش‌های شاهد نیز استفاده شود. جهت جریان نیز در شکل ۲ تعیین شده است.



شکل ۲- فرم بسترهای استفاده شده در این پژوهش.

Figure 2. Forms of substrates used in this research.

با توجه به ساختار پرش هیدرولیکی و نوسانات سطح آب موجود در این پدیده، هر آزمایش ۳ مرتبه تکرار شد. سپس از پارامترهای اندازه‌گیری شده متوسط حسابی به عمل آمد و جهت بررسی‌های نهایی و استخراج روند تغییر پارامترها، از متوسط حسابی استخراج‌شده استفاده شد. در این پژوهش ۵ دبی مورد آزمایش قرار گرفت که برای هر دبی عدد فرود پایین‌دست سرریز یا بالادست پرش هیدرولیکی در محدوده ۳/۵ تا ۵/۵ محاسبه شد. این شرایط اولیه برای آزمایش‌های کنترل و لحاظ گردید. همچنین لازم به ذکر است که شروع پرش هیدرولیکی بر روی ۲ قطعه شاهد اولیه (طول ۲۰ سانتی‌متر بعد از سرریز) انجام شد و با کنترل دریچه پایین‌دست فلوم، پرش هیدرولیکی به انتهای سرریز مهاجرت نمود و عمق اولیه جریان در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از انتهای سرریز اندازه‌گیری شد. جهت انجام آزمایش‌ها و ایجاد پرش هیدرولیکی از یک سرریز اوجی به ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر استفاده شد. جریان پس از بالا آمدن پشت سرریز و عبور از روی آن، در حالت جریان فوق بحرانی از روی بسترها عبور نمود. برای برقراری جریان زیربحرانی در پایین‌دست، دریچه انتهایی فلوم به‌تدریج بسته می‌شد تا پرش تشکیل شود هم‌چنین بسته شدن تدریجی تا آنجا ادامه یافت که شروع پرش در همه آزمایش‌ها در فاصله اندکی از انتهای سرریز و بر روی بخش صاف بستر شروع شود و در همین مکان ثابت بماند. موقعیت تشکیل پرش در تمام آزمایش‌ها ثابت بود. در هر آزمایش پس‌ازاین‌که دبی توسط دبی‌سنج اولتراسونیک بر روی عدد موردنظر ثابت شد و محل پرش هیدرولیکی با استفاده از سرریز ogee و دریچه پایین‌دست در موقعیت مدنظر کنترل شد، با استفاده از عمق‌سنج با دقت ۱ میلی‌متر، عمق جریان در بالادست و پایین‌دست پرش هیدرولیکی اندازه‌گیری شد. هم‌زمان از آزمایش عکس‌برداری می‌شد که به کمک نرم‌افزار پلات دیجیتایزر[1] مقدار عمق اولیه نیز اندازه‌گیری گردید و با مقدار اندازه‌گیری شده در حین آزمایش مقایسه و متوسط‌گیری می‌شد. جهت اندازه‌گیری طول پرش، که فاصله بین ابتدا تا انتهای پرش می‌باشد، علاوه بر اندازه‌گیری مستقیم در حین آزمایش (چندین نوبت) با متری که در کناره دیواره شیشه‌ای فلوم چسبانده شده بود، از دیجیتایز کردن عکس‌هایی هم که در طول آزمایش برداشت شده بود استفاده گردید.

در این پژوهش آنالیز ابعادی به روش پی باکینگهام انجام شد. متغیرهای موجود در این پژوهش شامل عمق جریان در بالادست پرش هیدرولیکی

1- Plot Digitizer

(Y_1)، عمق جریان در پایین‌دست پرش هیدرولیکی (Y_2)، طول پرش هیدرولیکی (L_j)، طول غلطابی (L_r)، عدد فرود جریان در بالادست پرش هیدرولیکی (F_n) و افت انرژی ناشی از پرش هیدرولیکی می‌باشند. پس از انتخاب متغیرهای تکراری و ترکیب اعداد بی‌بعد، پارامترهای نهایی استخراج شدند که شامل اعداد بی‌بعد رینالدز، فرود، وبر و پارامترهای دیگر می‌باشد که در ادامه بیان می‌شوند. سپس محدوده عدد رینالدز در تمامی آزمایش‌ها تعیین گردید و مشاهده شد که در تمام آزمایش‌های عدد رینولدز از $16.6 * 10^6$ بیش‌تر بود. بنابراین به دلیل آشفتگی بسیار زیاد جریان از عدد رینالدز و اثر لزوجت صرف‌نظر شد. سپس جهت صرف‌نظر نمودن از اثر عدد وبر، در تمامی آزمایش‌های شرایط به‌گونه‌ای تنظیم شد که عمق جریان بر روی سرریز اوجی از ۳ سانتی‌متر بیش‌تر باشد تا اثر کشش سطحی حذف گردد. درنهایت پارامترهای بدون بعد نهایی جهت بررسی در این پژوهش انتخاب شدند. این پارامترها شامل نسبت $\frac{Y_2}{Y_1}$ بیانگر عمق ثانویه به عمق اولیه پرش هیدرولیکی، $\frac{\Delta E}{E_1}$ درصد افت انرژی نسبی، $\frac{L_j}{Y_1}$ و $\frac{L_r}{Y_1}$ به ترتیب برابر نسبت طول پرش هیدرولیکی و طول غلطابی به عمق اولیه پرش هیدرولیکی می‌باشند. بنابراین ابتدا در این پژوهش روند تغییر هرکدام از پارامترهای ذکرشده با تغییر فرم بستر موردبررسی و ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

با توجه به هدف اصلی این پژوهش و آنالیز ابعادی انجام‌شده، به ترتیب پارامترهای نسبت اعماق مزدوج، درصد افت انرژی نسبی، نسبت‌های طول پرش هیدرولیکی و طول غلطابی به عمق پرش هیدرولیکی در بالادست موردبررسی قرار می‌گیرد.

برای روند تغییر نسبت اعماق مزدوج پرش هیدرولیکی، در این پژوهش جهت بررسی و صحت‌سنجی آزمایش‌ها و ابزار مورداستفاده، ابتدا آزمایش‌ها بر روی بستر صاف و در کانال مستطیلی انجام شد. درواقع در این سری آزمایش‌ها فقط از قطعات شاهد استفاده شد و موقعیت شروع پرش هیدرولیکی در انتهای سرریز کنترل گردید. در هر آزمایش اعماق بالادست و پایین‌دست پرش هیدرولیکی اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از رابطه نسبت اعماق مزدوج، و با داشتن عدد فرود در بالادست پرش هیدرولیکی، نسبت اعماق مزدوج در بستر صاف محاسبه شد. این نسبت برای هر عدد فرود محاسبه شد. در ادامه روند تغییر نسبت اعماق مزدوج اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه با نسبت اعماق مزدوج به‌دست‌آمده از رابطه بلنجر در سطح بستر صاف مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که روند اندازه‌گیری اعماق مزدوج در آزمایشگاه تطابق بسیار خوبی با رابطه بلنجر داشته و با محاسبه تفاوت بین داده‌های آزمایشگاهی و رابطه بلنجر، حداکثر ۱۰ درصد خطا مشاهده شد. بنابراین با همین روند، بررسی نسبت اعماق مزدوج در بسترهای غیرصاف و در فرم‌های مختلف ارائه‌شده در شکل ۲ در آزمایشگاه انجام شد. در ادامه، آزمایش‌های در فرم بسترهای مختلف ذکرشده در آزمایشگاه انجام شد و هر فرم بستر به تعداد ۳ مرتبه در دبی‌های موردنظر مورد آزمایش قرار گرفت و اعماق مزدوج پرش هیدرولیکی در هر آزمایش اندازه‌گیری شد و نسبت اعماق مزدوج در هر فرم بستر به دست آمد. سپس این نسبت برای هر فرم بستر با آزمایش‌های شاهد (بستر صاف) مقایسه شد و درصد کاهش نسبت اعماق مزدوج که به خاطر وجود فرم بستر اتفاق افتاده بود، محاسبه گردید. اولین فرم بستر پس از انجام آزمایش‌های شاهد، فرم بستر ریپل است که تماماً از قطعات ریپل استفاده شد. در این سری از آزمایش‌های مشاهده شد که با تغییر فرم بستر از شاهد به ریپل و از ریپل به تیپ ۱ الی ٤ نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه پرش هیدرولیکی کاهش می‌یابد. در بررسی کمی

مشاهده شد که حداکثر کاهش نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه پرش هیدرولیکی به میزان ۱۰/۲ درصد در فرم بستر تیپ ٤ مشاهده شد.

جهت بررسی روند افت انرژی، پس از اندازه‌گیری اعماق در بالادست و پایین‌دست پرش هیدرولیکی، انرژی در مقطع‌های بالادست و پایین‌دست حساب شد. سپس برای هر آزمایش محاسبه شد که چند درصد انرژی در بالادست با عبور از فرم بستر، در مقایسه با فرم بستر صاف، از دست خواهد رفت. مشاهده می‌شود با تغییر فرم بستر از شاهد به ریپل، میزان افت انرژی افزایش می‌یابد. در ادامه با تغییر فرم بستر از ریپل به تیپ ۱ و تغییر به تیپ‌های ۲ الی ٤ مشاهده می‌شود که میزان درصد افت انرژی افزایش می‌یابد. جهت بررسی کمی مشاهده شد که به ترتیب در اعداد فرود ۳/۵ و ۵/۵ به‌میزان ۲۳ و ٦ درصد افزایش افت انرژی رخ داد که مربوط به فرم بسترهای ایجاد شده می‌باشد.

بررسی روند تغییر طول پرش هیدرولیکی: در این پژوهش در هر آزمایش از مقطع پرش عکس‌برداری شد و با نرم‌افزار Plot digitizer طول پرش هیدرولیکی تعیین شد. سپس روند تغییر طول نسبی پرش هیدرولیکی (نسب طول پرش به عمق جریان اولیه جریان) با تغییر فرم بستر به دست آمد. ابتدا جهت مقایسه و صحت‌سنجی داده‌های آزمایشگاهی انجام‌شده بر روی بستر صاف، با داشتن اعماق مزدوج پرش هیدرولیکی و استفاده از رابطه معروف الواتوروسکی (رابطه ۱) به محاسبه طول پرش هیدرولیکی در بستر صاف پرداخته شد و این نتایج با طول اندازه‌گیری شده پرش هیدرولیکی در آزمایشگاه در بستر صاف مقایسه شد. نتایج نشان داد که با تغییر فرم بستر از شاهد به ریپل و از ریپل به تیپ‌های ۱ الی ٤ به ترتیب از طول نسبی پرش هیدرولیکی کاسته می‌شود. نتایج بررسی کمی نشان داد که در مقایسه فرم بستر شاهد و فرم بستر تیپ ٤ (که بهترین نتیجه در کاهش طول پرش هیدرولیکی را نشان داد) درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی به میزان ۳۲ درصد محاسبه شد.

برای بررسی روند تغییر طول غلطابی پرش هیدرولیکی، مشابه روند انجام‌شده برای طول نسبی پرش هیدرولیکی، طول غلطابی نیز در این پژوهش مورد آزمایش و بررسی قرار گرفت. ابتدا نسبت طول غلطابی به عمق اولیه پرش هیدرولیکی برای هر آزمایش محاسبه شد و روند تغییر این پارامتر برای فرم بسترهای مختلف مورداستفاده در این پژوهش محاسبه شد و نتایج هر فرم بستر با فرم بستر شاهد مقایسه شد. مشاهده می‌شود با تغییر فرم بستر از شاهد به ریپل و از ریپل به تیپ‌های ۱ الی ٤ طول غلطابی کم می‌شود. هم‌چنین این روند در تمامی اعداد فرود این پژوهش مشاهده شد. نتایج بررسی کمی نشان داد که با تغییر فرم بستر از شاهد به سمت ریپل و از ریپل به سمت تیپ‌های ۱ الی ٤، حداکثر تا ۳٤ درصد از طول غلطابی پرش هیدرولیکی در مقایسه با بستر صاف کاسته می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در پژوهش حاضر پرش هیدرولیکی در پایین‌دست سرریز اوجی بر روی بسترهای صاف، بستر با فرم ریپل و ترکیب ریپل و صاف در ٤ حالت مختلف ایجاد شد و پارامترهای نسبت اعماق مزدوج، افت انرژی نسبی، طول نسبی پرش و طول غلطابی پرش هیدرولیکی اندازه‌گیری و موردبررسی و تحلیل و مقایسه قرار گرفت. مشاهدات و بررسی‌های آزمایشگاهی نشان داد با ایجاد فاصله بین قطعات ریپل به میزان یک تا دو برابر فاصله بین ابتدا و انتهای فرم بستر و تشکیل تیپ‌های ۱ الی ٤ در پژوهش حاضر، علاوه بر کنترل پرش هیدرولیکی در بازه کوتاه‌تر، عمق نسبی نیز کاهش و افت انرژی نسبی افزایش خواهد یافت. علت این امر مربوط به افزایش تلاطم و

قدرت گردابه‌ها در طول کوتاه‌تر است که منجر به افزایش میزان افت انرژی نسبی در بازه مکانی کوتاه‌تری می‌شود. نتایج نشان داد که حداکثر به میزان ۱۰/۲ درصد در فرم بستر تیپ ٤ در مقایسه با آزمایش‌های بستر شاهد از میزان نسبت اعماق مزدوج کاسته شد. هم‌چنین نتایج نشان داد بیش‌ترین افت انرژی نسبی به میزان ۲۳ درصد در بستر تیپ ٤ اتفاق افتاد. در ادامه نتایج نشان داد طول نسبی پرش و طول نسبی غلطابی نیز هرکدام به ترتیب حداکثر به میزان ۳۲ و ۳٤ درصد کاهش نشان دادند. بنابراین می‌توان بیان نمود که بیش‌ترین کارایی ایجاد فرم بستر در کاهش طول پرش هیدرولیکی و طول غلطابی است که می‌تواند در ساخت حوضچه‌های آرامش باعث ایجاد صرفه اقتصادی گردد.

تقدیر و تشکر

از مسئولین آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی جهت همکاری در این پژوهش سپاسگزاری می‌شود.

داده‌ها و اطلاعات

پژوهش حاضر حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد است که در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز در سال ۱٤۰۰ به اجرا درآمده است.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: استاد راهنما و پیشنهاددهنده موضوع و تعیین‌کننده پارامترهای هیدرولیکی جهت اندازه‌گیری و ویرایش و اصلاح‌کننده مقاله، نویسنده دوم: انجام آزمایش‌ها در آزمایشگاه و اندازه‌گیری و برداشت داده‌ها، نویسنده سوم: نظارت بر انجام آزمایش‌ها، انجام محاسبات و نوشتن مقاله، نویسنده چهارم: استاد مشاور

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها است.

حمایت مالی

این پژوهش با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده اول با شماره پژوهانه SCU.WH1400.470 تأمین‌شده است و بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز قدردانی می‌شود.

منابع

1. Chanson, H. 2015. Energy Dissipation in Hydraulic Structures. CRC Press. T & F. 178p.
2. Rajaratnam, N. 1968. Hydraulic jumps on rough beds. Trans. Eng. Inst. Canada, 11(A-2), 1-8.
3. Ead, S.A., and Rajaratnam, N. 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering, 128: 7. 656-663.
4. Izadjoo, F., and Shafai Bejestan, M. 2007. Corrugated bed hydraulic jump stilling basin. Journal of Applied Sciences. 7: 8. 1164-9.
5. Subramanya, K. 2009. Flow in open channels. Tata McGraw-Hill Education.
6. Asadi, F., Fazl Ola, R., and Emadi, A. 2016. Investigation of hydraulic jump characteristics in rough bed conditions using physical model. Journal of Soil and Water Conservation Research. 23: 5. 295-306. (In Persian)