



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و پنجم، شماره اول، ۱۳۹۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12965.2762

مدل‌سازی فیزیکی تأثیر طول مهارهای انعطاف‌پذیر موانع شناور گروهی بر خصوصیات پرش هیدرولیکی

امین ورشوساز^۱ و *جواد احدیان^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، آدانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: پرش هیدرولیکی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های متغیر سریع در استهلاک انرژی جریان‌های پر سرعت می‌باشد که در فاصله کوتاه رژیم جریان را از فوق بحرانی به زیر بحرانی تبدیل می‌کند و منجر به کاهش انرژی جنبشی و افزایش عمق می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی خصوصیات پرش هیدرولیکی در قالب مطالعه آزمایشگاهی بر روی بستر صاف و همراه با موانع شناور متصل به کف با طول‌های مهارهای مختلف بوده است که در نهایت به مقایسه نتایج به‌دست آمده از این پژوهش با سایر پژوهش‌ها پرداخته شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌ها در یک کانال با دیواره شفاف و به طول ۸ متر و عرض و ارتفاع به ترتیب ۳۵ و ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. به‌منظور ایجاد پرش هیدرولیکی دیواره کانال در بخش ابتدایی به ۸۰ سانتی‌متر افزایش داده شد و یک سرریز با زاویه ۳۰ درجه و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر نصب شد. در ادامه برای مدل‌سازی موانع شناور، قطر کاربردی موانع به‌صورت ثابت برابر با ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. برای تفسیر و تحلیل هر یک از پارامترهای مؤثر آنالیز ابعادی با استفاده از تئوری پی باکینگهام انجام گرفت و در مجموع ۳۰ آزمایش با متغیرهای طول مهار و عدد فرود که شامل ۵ طول مهار ۰، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵، ۴/۵ سانتی‌متر و محدوده اعداد فرود ۵/۱ تا ۸/۳ انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس تحلیل‌های انجام شده یکی از نتایج مهم در پژوهش حاضر این است که انعطاف‌پذیری و نوسان در موانع کاربردی به‌عنوان مستهلک‌کننده پرش هیدرولیکی، باعث افزایش افت انرژی مازاد می‌گردد. این در حالی است که با افزایش طول‌های مهارهای موانع، بخش بیشتری از مومنتم جریان ورودی جذب موانع می‌شود. که البته این موضوع برای محدوده اعداد فرود ۵/۱ الی ۷/۵ اثر بیشتری دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که افت انرژی با استفاده از موانع به‌طور متوسط حدود ۶۹ درصد بوده که تقریباً ۱۰/۲ درصد نسبت به بستر صاف افزایش یافته است. طول پرش هیدرولیکی و عمق ثانویه نسبی به‌ترتیب به‌طور متوسط ۳۶ و ۱۹/۵ درصد نسبت به حوضچه کلاسیک کاهش یافتند. مشاهدات بیانگر آن است که طول مهار بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی تأثیرگذار است به‌طوری‌که در اثر تغییر طول مهار در بازه اعداد فرود ۵/۱ تا ۸/۳ مقادیر طول پرش هیدرولیکی و عمق ثانویه نسبی به‌ترتیب حداکثر تا ۱۹/۱ و ۱۵/۲ درصد اختلاف در نتایج نشان می‌دهند و میزان اختلاف افت انرژی بین طول مهار ۴/۵ سانتی‌متر و طول مهار صفر حداکثر ۱۰/۶ درصد به‌صورت افزایشی بوده است.

واژه‌های کلیدی: پرش هیدرولیکی، موانع انعطاف‌پذیر، شناوری موانع، طول مهار، حوضچه آرامش

* مسئول مکاتبه: ja_ahadiyan@yahoo.com

مقدمه

یکی از رایج‌ترین روش‌ها جهت استهلاک انرژی در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی ایجاد پرش هیدرولیکی می‌باشد. در اثر این پدیده جریان در مسیر کوتاهی با تغییر رژیم جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی قسمت اعظم انرژی جنبشی را به انرژی گرمایی و پتانسیل تبدیل می‌کند. جریان در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی مانند تندآب‌ها و سرریزها دارای مقدار قابل توجهی انرژی جنبشی است که در صورت عدم کنترل می‌تواند منجر به مشکلات بزرگی از جمله فرسایش شود. بنابراین استهلاک انرژی جنبشی جریان در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی از اهمیت بالایی برخوردار است. به این منظور، سازه‌هایی با عنوان سیستم‌های مستهلک‌کننده انرژی ساخته می‌شوند تا جریان به کانال پایین‌دست وارد شود. یکی از انواع متداول سیستم‌های مستهلک‌کننده انرژی، حوضچه آرامش است تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در مورد انواع حوضچه‌های آرامش انجام شده است و چند نوع از این حوضچه‌های استاندارد شده که مشهورترین آن‌ها حوضچه‌های آرامش USBR و حوضچه SAF است. ابعاد حوضچه‌های آرامش مستقیماً به مشخصات پرش هیدرولیکی مانند طول پرش هیدرولیکی و عمق پایاب مورد نیاز بستگی دارد. در سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی آب یا همان حوضچه‌های آرامش، معمولاً از بلوک‌ها و آب‌پایه‌ها برای کنترل پرش در حوضچه‌ها استفاده می‌شود که می‌توان به کاربرد آن‌ها در تثبیت، کنترل، کاهش عمق ثانویه و طول پرش اشاره نمود. از این‌رو تلاش پژوهشگران همواره بر ایجاد تمهیداتی در محل وقوع پرش هیدرولیکی بوده است که بتوانند مشخصات پرش را کاهش دهند. بنابراین هر نوع روشی که بتواند به کاهش طول پرش و کاهش عمق ثانویه کمک کند می‌تواند به طرح اقتصادی حوضچه نیز کمک نماید. برای کاهش ابعاد حوضچه آرامش اقداماتی چون

ساخت بلوک‌های پای شوت و یا بلوک‌های میانی و انتهایی به‌منظور اتلاف انرژی جنبشی جریان در محدوده پرش و کاهش مشخصات آن در گذشته توسط پژوهشگرانی مانند پترکا (۱۹۸۳) مورد استفاده قرار گرفته است (۱۳). پترکا نشان داد وجود مانع در مقابل جریان آب باعث جداشدگی جت ورودی، افزایش تنش برشی، استهلاک انرژی بیش‌تر و نیز افزایش نیروی درگ می‌گردد و در نتیجه نسبت اعماق مزدوج کاهش می‌یابد (۱۴). یکی از روش‌هایی که می‌تواند جایگزین بلوک‌ها شود ایجاد زبری مصنوعی در بستر حوضچه آرامش است. زبر کردن کف باعث می‌شود که در یک حجم کنترل مقدار مومتم ورودی و خروجی برابر نبوده و مومتم خروجی به اندازه نیروی مقاومتی زبری‌ها، کم‌تر از مومتم ورودی شود. لوت‌هوسر و شیلر (۱۹۷۵) بیان نمودند که وجود زبری در کف باعث سرعت بخشیدن به رشد لایه مرزی شده و برای ایجاد جریان‌های فوق بحرانی توسعه‌یافته در پایین‌دست دریچه‌ها و سرریزها نیاز به طول کوتاه‌تری است (۱۰). هیوز و فلاک (۱۹۸۴) بیان نمودند که ناهمواری‌های مرزی به‌طور قطع طول پرش هیدرولیکی و عمق ثانویه را کم می‌کنند که این میزان کاهش تابعی از عدد فرود اولیه و میزان ناهمواری نسبی بستر می‌باشد (۷). مطالعات راجارانتام (۱۹۸۶) نشان داد که عمق پایاب موردنیاز برای تشکیل پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر می‌تواند به‌طور محسوسی کوچک‌تر از عمق مزدوج در حالت کلاسیک باشد (۱۵). ایزدجو و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند بستر موج‌دار با مقطع دوزنقه‌ای باعث کاهش عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی به‌ترتیب به‌میزان ۲۰ درصد و ۵۰ درصد نسبت به پرش کلاسیک می‌شود (۸). اید و راجارانتام (۲۰۰۲)، توکیای (۲۰۰۵) و عباسپور و همکاران (۲۰۰۹) و بدیع‌زادگان و همکاران (۲۰۱۴) خصوصیات پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج‌دار سینوسی شکل را با ارتفاع نسبی

می‌کند و روند این تغییرات با افزایش عدد فرود و ارتفاع و فاصله بین زبری‌ها شدت می‌یابد (۱۶). اشکو و همکاران (۲۰۱۵) پژوهش‌های آزمایشگاهی خود را در راستای اثر تمایل بلوک‌های حوضچه‌ی آرامش تیپ ۳ USBR بر خصوصیات پرش هیدرولیکی انجام دادند نتایج نشان داد که افزایش زاویه قرارگیری بلوک‌ها در حالت همگرا تا ۳۰ درجه باعث بهبود عملکرد بلوک‌ها می‌شود (۵). اسدی و همکاران (۲۰۱۷) در آزمایش‌های خود به بررسی اثر بستر زبر بر مشخصات پرش هیدرولیکی پرداختند نتایج نشان داد که بستر زبر نسبت به بستر صاف به‌طور میانگین استهلاك انرژی نسبی و نیروی برشی را به‌ترتیب ۶۹ و ۲/۶ درصد افزایش می‌دهد (۲). در پژوهش حاضر برای اولین بار حوضچه آرامش به همراه موانع کروی شناور متصل به کف که در گذشته به‌عنوان اتلاف‌کننده انرژی موج در سواحل توسط کلیکنبرد (۱۹۷۹) مورد استفاده قرار گرفته‌اند و حدود ۵۰ درصد انرژی موج را کاهش داده‌اند (۹). را با قطر ثابت ۴ سانتی‌متر و با ۵ طول مهار ۰، ۱/۵، ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ سانتی‌متر مدل‌سازی آزمایشگاهی شد. این موانع علاوه بر نیروی کششی که به آن‌ها وارد می‌شود در اثر برخورد جریان آب دچار نوسان می‌شوند که این نوسان سبب تشدید توربولانت شده و این امر سبب افزایش افت مازاد انرژی می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر طول مهار موانع شناور بر طول پرش هیدرولیکی، استهلاك انرژی نسبی و عمق ثانویه نسبی بوده است که در نهایت با پژوهش‌های مشابه بر روی انواع بستر زبر مقایسه می‌شود.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی: پارامترهای مؤثر بر خصوصیات پرش هیدرولیکی از جمله عمق ثانویه پرش و طول پرش هیدرولیکی در پژوهش حاضر عبارتند از: γ_1 : عمق اولیه پرش، V_1 : سرعت جریان در مقطع فوق بحرانی،

موج t/γ_1 (که t ارتفاع موج بستر و γ_1 عمق اولیه پرش می‌باشد) و اعداد فرود مختلف بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که عمق پایاب مورد نیاز برای تشکیل پرش بر روی بستر موج‌دار نسبت به بستر صاف کم‌تر و ضریب تنش برشی در پرش هیدرولیکی در بستر موج‌دار نسبت به بستر صاف افزایش قابل‌ملاحظه‌ای می‌یابد (۱۴، ۳، ۴ و ۱۷). گوهری و فرهودی (۲۰۰۹) آزمایش‌های خود را بر روی بسترهایی با زبری‌های نواری مستطیلی با دو ارتفاع مختلف انجام دادند. اعداد فرود مورد آزمایش آن‌ها در بازه ۳ تا ۱۰ بوده است. بر اساس نتایج این پژوهش، تغییر ارتفاع زبری‌ها و عمق اولیه پرش اثر ناچیزی بر مشخصات هیدرولیکی می‌گذارند. همچنین عمق مزدوج با افزایش فاصله بین زبری‌ها به‌میزان بیش‌تری کاهش می‌یابد (۶). شفافی‌بجستان و نیسی (۲۰۰۹) اثر اجزای زبر با شکل‌های مختلف را بر تنش برشی بستر و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی در بازه اعداد فرود ۴/۵ تا ۱۲ مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که عمق ثانویه به‌دلیل وجود اجزای زبر کاهش یافته و میزان این کاهش بستگی به عدد فرود و شکل اجزای زبر دارد (۱۲). نژندعلی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر نوارهای زبری با مقطع مثلثی قائم‌الزاویه بر پرش هیدرولیکی در بازه اعداد فرود ۴ تا ۱۳/۷ پرداختند. آن‌ها اعلام کردند نسبت عمق‌های ثانویه پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر با افزایش عدد فرود اولیه به‌میزان بیش‌تری نسبت به بستر صاف کاهش می‌یابد همچنین طول پرش هیدرولیکی روی این نوع از زبری‌ها در حدود ۳۲ درصد نسب به پرش کلاسیک کاهش می‌یابد (۱۱). از مطالعات دیگر می‌توان به آزمایش‌های راور و همکاران (۲۰۱۲) جهت بررسی خصوصیات پرش هیدرولیکی بر روی بستر دوزنقه‌ای قائم اشاره کرد. نتایج نشان داد که مقادیر عمق ثانویه، طول پرش هیدرولیکی و طول غلتابه در بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش پیدا

و در نهایت از رابطه فوق رابطه ۴ به دست می‌آید:

$$\frac{y_2}{y_1}, \frac{L_j}{y_1} = f_4 = (Fr_1, \frac{h}{y_1}) \quad (4)$$

مشخصات کانال آزمایشگاهی: آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی به طول ۸ متر و به ترتیب عرض و ارتفاع ۳۵ و ۴۰ سانتی‌متر مستقر در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در این فلوم آب از مخزن بیرون آزمایشگاه به کمک یک سیستم پمپاژ و از طریق لوله ورودی به مخزن ابتدای فلوم وارد می‌شود دبی جریان قبل از ورود به مخزن ابتدایی آرام‌کننده توسط دبی‌سنج الکترومغناطیس با دقت ± 0.01 لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. برای ایجاد جریان فوق بحرانی در ابتدای مسیر ارتفاع فلوم را به ۸۰ سانتی‌متر افزایش داده و بعد از آرام‌کننده جریان که متشکل از یک شبکه توری فلزی به همراه پوشال بود، یک تند آب به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و با شیب ۳۰ درجه از جنس PVC نصب شد. شکل ۱ نمایی از پروفیل و پلان فلوم آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

ρ : چگالی سیال، μ : لزجت دینامیک جریان، g : شتاب ثقل و h : ارتفاع نسبی مدل‌ها که شامل قطر و طول مهار مدل‌های فیزیکی می‌باشد. برای به دست آوردن گروه‌های بی‌بعد از پارامترهای مؤثر بر جریان از روش پی‌باکینگهام به شکل زیر استفاده خواهد شد:

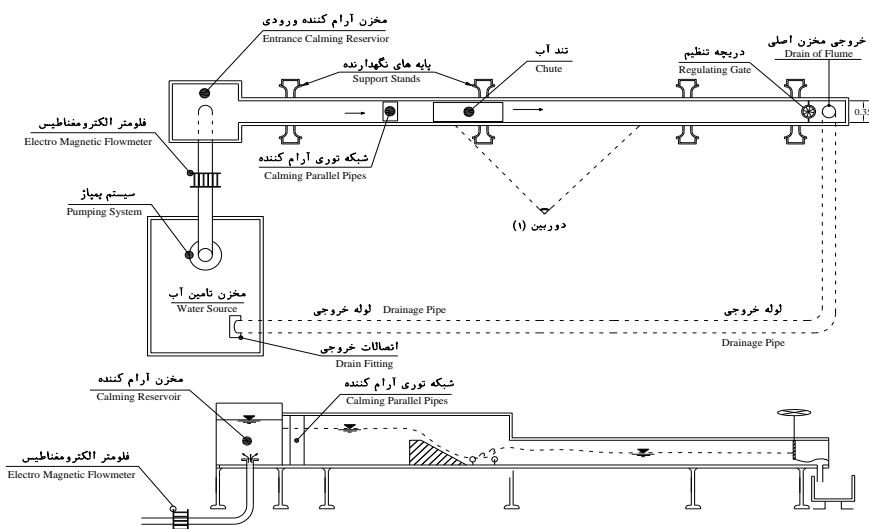
$$f_1 = (y_1, y_2, L_j, v_1, \rho, \mu, g, h) \quad (1)$$

با در نظر گرفتن y_1 عمق اولیه پرش، v_1 سرعت اولیه پرش و ρ چگالی سیال به‌عنوان متغیرهای تکراری رابطه فوق به شکل زیر نمایان می‌شود.

$$f_2 = (\frac{y_2}{y_1}, \frac{L_j}{y_1}, Re_1, Fr_1, \frac{h}{y_1}) \quad (2)$$

با توجه به این‌که حداقل عدد رینولدزی که در آزمایش‌ها رخ داده است برابر ۴۳۵۷ می‌باشد جریان متلاطم است و می‌توان از تأثیرات Re بر جریان صرف‌نظر کرد. بنابراین رابطه بالا به شکل زیر ظاهر می‌شود.

$$f_3 = (\frac{y_2}{y_1}, \frac{L_j}{y_1}, Fr_1, \frac{h}{y_1}) \quad (3)$$

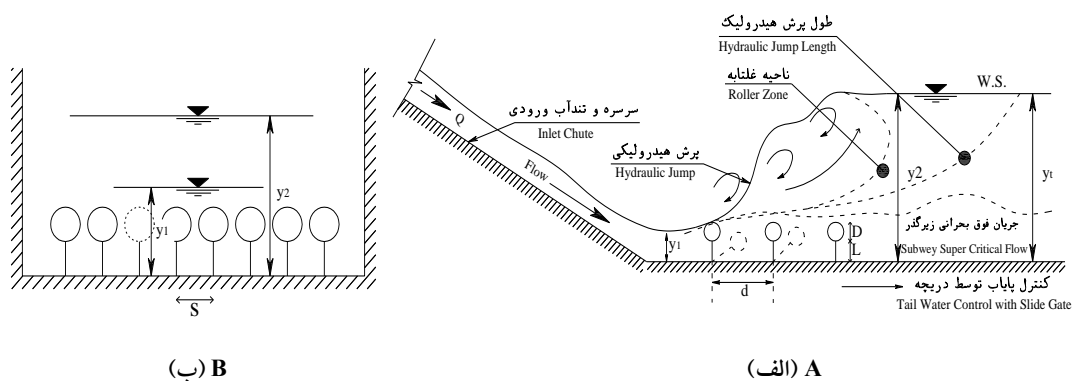


شکل ۱- نمایی از پلان و نیمرخ فلوم آزمایشگاهی.

Figure 1. A view of plan and profile of experimental flume.

حین آزمایش‌ها طول مهارها تغییر نکند. در شکل ۲ نمایی از شماتیک مدل و همچنین نمونه‌ای از مدل‌های موانع شناور نصب شده در فلوم نشان داده شده است.

این موانع از جنس پلی‌اتیلن و به شکل کره ساخته شده‌اند که توسط مهار به قلاب‌های که در کف حوضچه آرامش تعبیه شده است متصل می‌شوند. جنس مهارها به شکلی تعیین شده است که کره‌های شناور توانایی نوسان کردن داشته باشند و همچنین در



شکل ۲- نمایش مشخصات هیدرولیکی پرش با حضور موانع شناور و معلق (الف) نیم‌رخ طولی (ب) پروفیل عرضی (ج) تصویر موانع.
Figure 2. Representation of floating objects effect on hydraulic characterization of the hydraulic jump (A) profile (B) width section (C) image of objects.

کانال آزمایشگاهی نصب شده و مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بستر به همراه موانع اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری عمق اولیه بر روی بستر صاف دریچه پایین‌دست کاملاً باز بوده و با استفاده از عمق‌سنج^۱ با دقت ± 1 میلی‌متر عمق اولیه پرش در سه نقطه از عرض فلوم اندازه‌گیری شد. سپس دریچه

به‌طورکلی آزمایش‌ها با ۵ مدل مطابق جدول ۱ در ۵ دبی متفاوت در بازه ۳۵-۱۵ لیتر بر ثانیه با فواصل ۵ لیتر بر ثانیه انجام شد. آزمایش‌ها در مرحله اول به منظور اندازه‌گیری مشخصات پرش بر روی بستر صاف صورت گرفت. سپس مدل‌های موانع شناور که کره‌هایی با قطر ۴ سانتی‌متر و از جنس پلی‌اتیلن بوده‌اند، با توجه به متغیرهای پژوهش بر روی بستر

1- Point gauge

نرم‌افزار پردازش تصاویر گرافر ۱۲ استفاده گردید. طول پرش هیدرولیکی (L_j) توسط اشل نواری که در طول فلوم نصب شده و دقت آن برابر با ± 1 میلی‌متر بوده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. شکل ۳ نمونه‌ای از تشکیل پرش بر روی بستر صاف و بستر همراه با موانع شناور بوده و جدول ۲ محدوده پارامترهای اندازه‌گیری شده می‌باشد.

پایین‌دست به تدریج بسته شده تا عمق پایاب افزایش یابد این کار تا زمانی ادامه پیدا کرد که پرش هیدرولیکی دقیقاً در پنجه تندآب تشکیل شده و پس از گذشت یک زمان مشخص و اطمینان از تثبیت پرش هیدرولیکی، داده‌های مورد نظر که در این آزمایش‌ها عبارتند از y_2 (عمق ثانویه پرش)، L_j (طول پرش هیدرولیکی) اندازه‌گیری شد. همچنین جهت برداشت پروفیل طولی سطح آب از تصویربرداری و

جدول ۱- مشخصات مربوط به آزمایش‌های مختلف در پژوهش حاضر.

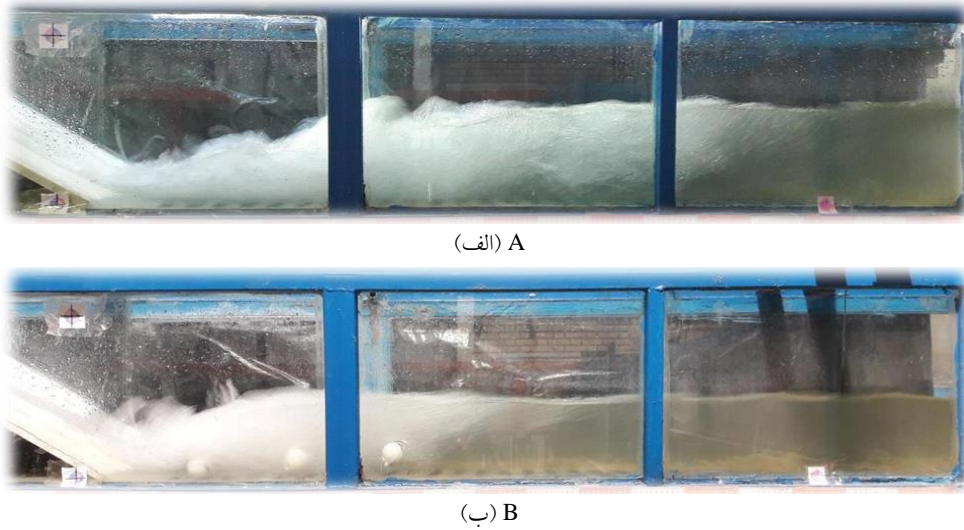
Table 1. Characteristics of different experiments in the study.

طول مهار (Bearing length) (cm)	نام بستر (Name of bed)	شماره بستر (Number of bed)
0	L_0	1
1.5	L_1	2
2.5	L_2	3
3.5	L_3	4
4.5	L_4	5
-	شاهد	6

جدول ۲- محدوده پارامترهای اندازه‌گیری شده در پژوهش حاضر.

Table 2. Range of measured parameters in the study.

محدوده (Range)	واحد (Units)	پارامترها (Parameters)
5.1-8.3	بی‌بعد (Dimansionless)	عدد فرود Fr_1
15-35	لیتر بر ثانیه (Lit/s)	دبی جریان Q
12.3-23.0	سانتی‌متر (cm)	عمق ثانویه y_2
1.4-3.4	سانتی‌متر (cm)	عمق اولیه y_1
47-148	سانتی‌متر (cm)	طول پرش هیدرولیکی L_j

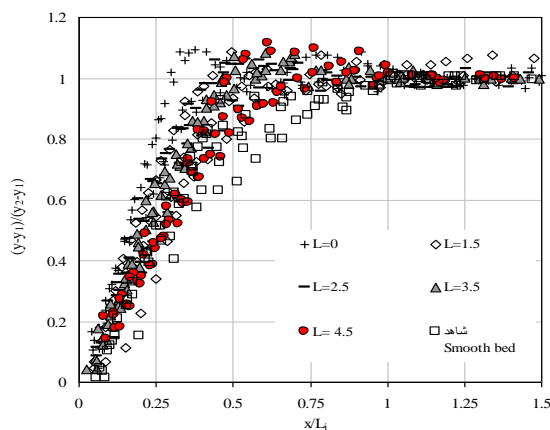


شکل ۳- پرش هیدرولیکی تشکیل شده (الف) روی بستر بدون مانع (ب) بستر همراه با موانع شناور متصل به کف.
 Figure 3. The formed hydraulic jump on (A) the bed without objects (B) the bed with attached objects.

نتایج و بحث

با تصویربرداری مستقیم از نیمرخ فلوم آزمایشگاهی در ناحیه پرش هیدرولیکی و رقمی کردن عکس‌ها با استفاده از نرم‌افزار گرافر ۱۲ مشخصات سطح آب پرش هیدرولیکی ثبت شد. نیمرخ بی‌بعد سطح آب در شکل ۴ نشان داده شده است. در این شکل $\frac{y-y_1}{y_2-y_1}$ در برابر $\frac{x}{L_j}$ برای بسترهای مختلف در فرودهای

مختلف رسم شده است. با توجه به ۴ پروفیل سطح آب در مدل‌های با طول مهار بلندتر دارای یکنواختی بیش‌تری می‌باشد. این موضوع در مدل‌های با نسبت بی‌بعد h/y_{1max} $2/2$ و $2/5$ بیش‌تر نمایان شده است زیرا در موانع با طول مهار کوتاه‌تر بخشی از جت ورودی به سمت سطح آب هدایت می‌شود و در سطح آب ایجاد تلاطم می‌کند.

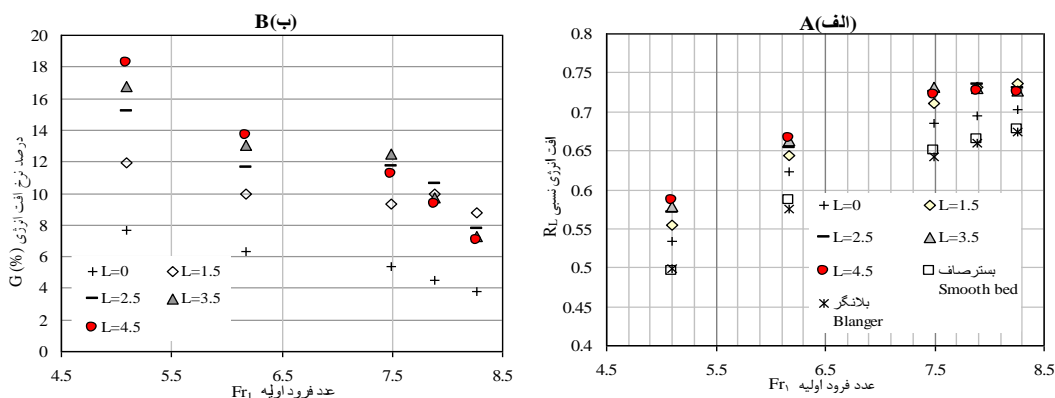


شکل ۴- نیمرخ بی‌بعد سطح آب در پرش هیدرولیکی روی بستر با موانع.
 Figure 4. Normalized profiles of water surface in hydraulic jump.

(۲۰۰۵) ارائه شده است (۱۶)، محاسبه شده و در مقابل اعداد فرود در شکل (۵-ب) ترسیم شده است.

$$G = \frac{E_{Lsb} - E_L}{E_{Lsb}} \quad (5)$$

افت انرژی پرش هیدرولیکی: پارامتر R_L افت نسبی انرژی در مقابل اعداد فرود اولیه در شکل (۵-الف) ترسیم شده است. همچنین مقادیر درصد نرخ افت انرژی که با استفاده از رابطه‌ای که توسط توکیای



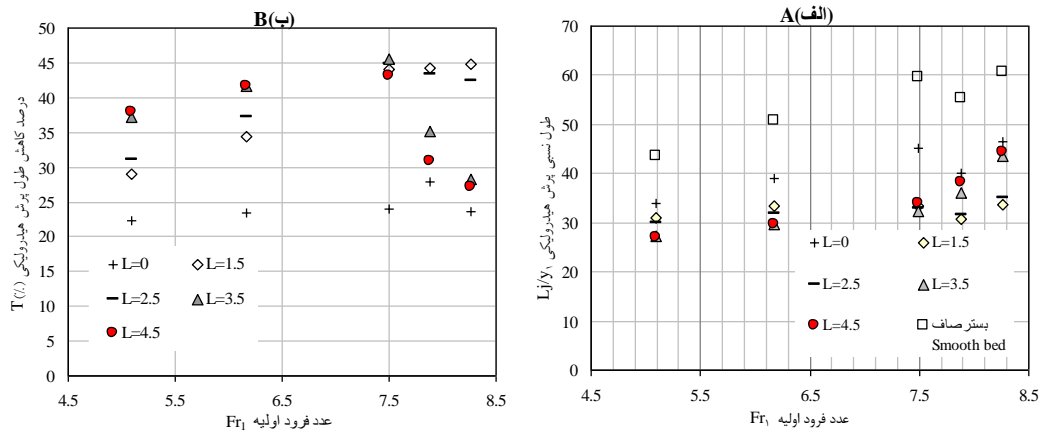
شکل ۵- تغییرات (الف) افت نسبی انرژی (ب) مقادیر درصد نرخ افت انرژی در مقابل اعداد فرود برای مقادیر مختلف L .

Figure 5. Variations of (A) Relative energy dissipation (B) Increased rate of energy dissipation for different bearing length versus Fr_1 .

ورودی خارج شده و بخش کم‌تری از مومتم جریان ورودی را جذب کرده‌اند، به‌میزان بیش‌تری قابل مشاهده است. درصد نرخ افت انرژی متوسط برای مدل‌های L_0 الی L_4 به‌ترتیب برابر با ۱۰/۵، ۱۱/۴، ۱۱/۸ و ۱۱/۹ درصد بوده است. همچنین برای بررسی بهتر اثر طول مهار موانع شناور متصل شده به کف بر اساس معادلات به‌دست آمده از روش پی‌باکینگهام در بخش تحلیل ابعادی در شکل (۶-الف) مقادیر L_j/y_1 نسبت به Fr_1 رسم شده است و درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی که از رابطه ۶ که توسط توکیای (۲۰۰۵) ارائه شده است (۱۶)، در شکل (۶-ب) در مقابل اعداد فرود رسم شده است.

$$T = \frac{L_j^* - L_j}{L_j^*} \times 100 \quad (6)$$

همان‌طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌شود در یک فرود مشخص مقادیر افت نسبی انرژی و مقادیر درصد نرخ افت در مدل‌های با طول مهار بلندتر بیش‌تر می‌باشند که این رفتار به این دلیل رخ داده که در مدل‌های با طول مهار بلندتر به‌علت آزادی و نوسانات بیش‌تر که سبب افزایش تلاطم جریان شده، افت انرژی بیش‌تری رخ داده است. همچنین این موانع در مقابل جت ورودی جریان قرار می‌گیرند و بخشی از مومتموم جریان ورودی را جذب می‌کنند بنابراین مقادیر افت انرژی نسبی و مقادیر درصد نرخ افت انرژی در این مدل‌ها بیش‌تر بوده است. با توجه به شکل (۵-ب) می‌توان مشاهده کرد که مقادیر درصد نرخ افت انرژی با افزایش عدد فرود، کاهش می‌یابد و این روند کاهشی در مدل‌های با طول مهار بلندتر (L_4 و L_3) به‌دلیل این‌که در اعداد فرود بالا ردیف اول این مدل‌ها به سطح آب رسیده و از مقابل جت



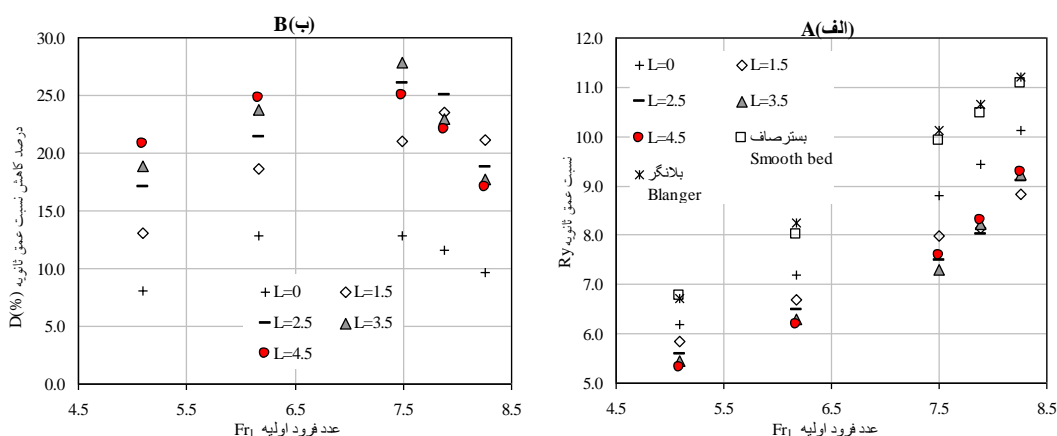
شکل ۶- تغییرات (الف) مقادیر L_j/y_1 (ب) مقادیر درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی در مقابل اعداد فرود اولیه.

Figure 6. Variations of (A) relative hydraulic jump length (B) decrease rate of hydraulic jump length versus Fr_1 .

است. درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی متوسط برای مدل‌های L_0 الی L_4 به ترتیب برابر با $24/2$ ، $39/3$ ، $39/8$ ، $37/5$ ، $36/1$ درصد بوده است. براساس تحلیل ابعادی انجام شده بر روی بستر همراه با موانع شناور نسبت بی‌بعد عمق ثانویه R_y نسبت به اعداد فرود در طول مهارهای مختلف در شکل (۷-الف) رسم شده است و همچنین درصد کاهش عمق ثانویه که از رابطه ۷ که توسط راجاراتنام (۲۰۰۲) ارائه شده (۱۵)، در مقابل اعداد فرود مختلف در شکل (۷-ب) رسم شده است.

$$D = \frac{y_2^* - y_2}{y_2^*} \times 100 \quad (7)$$

با توجه به شکل (۶-الف) قابل مشاهده است که در تمامی آزمایش‌ها بر روی بستر همراه با موانع شناور مقادیر L_j/y_1 از بستر صاف کم‌تر است که دلیل این رفتار افزایش افت انرژی بر روی بستر همراه با موانع شناور است که باعث شده پرش هیدرولیکی در طول کم‌تری نسبت به پرش کلاسیک به عمق ثانویه خود برسد. با توجه به نمودار رسم شده در بازه اعداد فرود $5/1$ تا $7/5$ تغییرات L_j/y_1 نسبت به Fr_1 روند خطی ثابتی را طی می‌کند که طی این روند مدل‌های با طول مهار بلندتر (L_3 و L_4) تا عدد فرود $7/5$ دارای حداقل مقادیر می‌باشند. نکته دیگری که قابل ذکر است در تمامی آزمایش‌ها مدل با طول مهار صفر دارای بیش‌ترین مقادیر L_j/y_1 و کم‌ترین درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی نسبت به سایر مدل‌ها بوده



شکل ۷- تغییرات (الف) عمق نسبی ثانویه (ب) درصد کاهش عمق ثانویه در مقابل عدد فرود اولیه.

Figure 7. Variations of (A) relative secondary depth (B) decrease rate of secondary depth versus Fr_1 .

هندسی از پرش هیدرولیکی شامل عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی مدنظر قرار گرفت. در پژوهش حاضر موانع شناور کروی به‌طور متوسط طول پرش هیدرولیکی و نسبت عمق ثانویه را به‌ترتیب ۳۶ و ۱۹/۵ درصد کاهش دادند. مطالعات راور و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد که طول پرش هیدرولیکی و عمق ثانویه نسبی بر روی بستر همراه با زبری‌های دوزنقه‌ای قائم به‌ترتیب ۳۲ و ۱۳ درصد کاهش می‌یابد (۱۶). ایزدجو و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج‌دار به‌ترتیب ۲۰ و ۵۰ درصد کاهش می‌یابد (۸). اشکو و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که بلوک‌های حوضچه آرامش تیپ ۳ USBR با زاویه قرارگیری ۳۰ درجه در حالت همگرا به‌طور متوسط عمق ثانویه و طول پرشی هیدرولیکی را به‌ترتیب ۱۰ و ۴۰ درصد کاهش داده‌اند (۵).

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر به‌منظور بررسی اثر موانع شناور متصل به کف بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش انجام گرفت. نتایج حاصل بیانگر این بود که مقادیر نسبت عمق ثانویه بر روی بستر همراه با موانع نسبت به سطوح صاف کم‌تر بوده است.

به‌طورکلی با توجه به شکل (الف-۷) نسبت عمق ثانویه بر روی بستر همراه با موانع شناور همواره نسبت به بستر صاف به‌دلیل افت انرژی مازاد در تمامی آزمایش‌ها کاهش یافته است. با افزایش عدد فرود تا ۷/۵ حداقل مقدار نسبت عمق ثانویه مربوط به مدل‌های با طول مهار بلند می‌باشد؛ ولی با عبور از این عدد فرود به‌دلیل ذکر شده در بخش‌های قبل، مدل‌های با طول مهار کوتاه‌تر دارای نسبت عمق ثانویه کم‌تری بوده‌اند. همان‌طور که در شکل مشخص است از عدد فرود ۵ تا ۷/۵ درصد کاهش نسبت عمق ثانویه روند خطی افزایشی را نشان می‌دهد. قابل ذکر است که مقادیر درصد کاهش عمق نسبی به مقدار زیادی متأثر از طول مهار موانع می‌باشند و این اختلاف در عدد فرود ۷/۵ به میزان حداکثر خود که برابر با ۱۵/۲ درصد است بین مدل‌های L_0 و L_3 رسیده است. میزان درصد کاهش عمق نسبی متوسط برای مدل‌های L_0 الی L_4 به‌ترتیب برابر با ۱۱، ۱۹/۵، ۲۱/۶، ۲۲/۲ و ۲۲ درصد بوده است.

مقایسه با پژوهش‌های گذشته: بر اساس آنچه که در این پژوهش گذشت برای مشخص شدن موقعیت پژوهش حاضر اقدام به مقایسه با سایر پژوهش‌های انجام شده در منابع گردید. برای این منظور دو پارامتر

به‌طور متوسط در آزمایش‌های انجام شده بر روی بستر همراه با موانع شناور ۳۶ درصد بوده است از دیگر نتایج می‌توان به افزایش استهلاک بر روی بستر همراه با موانع شناور در اثر نوسانات و جذب بخشی از مومتم جریان اشاره کرد. درصد نرخ افت انرژی نسبت به بستر صاف به‌طور متوسط برابر با ۱۰/۵ درصد بوده است.

قابل ذکر است که مدل‌های با طول مهار صفر در تمامی آزمایش‌ها دارای مقادیر R_y بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها بوده‌اند. در بازه اعداد فرود ۵/۱ تا ۸/۳ میزان درصد کاهش نسبت عمق ثانویه به‌طور متوسط بر روی بستر همراه با موانع شناور برابر با ۱۹/۵ درصد بوده است. تغییرات L_j/y_1 نسبت به Fr_1 روند خطی ثابتی را طی می‌کند. مقدار درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی

منابع

1. Abbaspour, A., Hosseinzadeh Dalir, A., Farsadizadeh, D., and Sadraddini, A.A. 2009. Effect of sinusoidal corrugated bed on hydraulic jump characteristics. *J. Hydro-Environ. Res.* 3: 109-117.
2. Asadi, F., Fazloulou, R., and Emadi, A. 2017. Investigation the characteristics of hydraulic jump in a rough bed condition using a physical model. *Gorgan, J. Water Soil Cons.* 23: 5. 295-306. (In Persian)
3. Badizadegan, R., Saneie, M., and Esmaili, K. 2014. Comparison of Hydraulic Jump Characteristics on Different Types of Corrugated Beds. *Iran. J. Irrig. Drain.* 8: 2. 220-232. (In Persian)
4. Ead, S.A., and Rajaratnam, N. 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 128: 7. 656-663.
5. Eshkou, Z., Ahmadi, A., and Deghani, A.A. 2015. Experimental investigation of the effects of block inclinations on the hydraulic jump characteristics in the stilling basin (USBR III). *Gorgan, J. Water Soil Cons.* 22: 4. 231-242. (In Persian)
6. Gohari, A., and Farhoudi, J. 2009. The characteristics of hydraulic jump on rough bed stilling basins. 33rd IAHR Congress, Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver, British Columbia, August 9-14. 1-9.
7. Hughes, W.C., and Flack, J.E. 1984. Hydraulic jump properties over a rough bed. *J. Hydr. Engin. ASCE.* 110: 12. 1755-1771.
8. Izadjoo, F., and Shafai Bajestan, M. 2007. Corrugated bed hydraulic jump stilling basin. *J. Appl. Sci.* 7: 8. 1164-1169. (In Persian)
9. Clinkenbeard, J.D. 1979. Tethered Float Breakwater. *IEEE, Conference of OCEANS '79, San Diego, CA, USA, 17-19 Sept.* 450-453.
10. Leutheusser, H.J., and Schiller, E.J. 1975. Hydraulic jump in a rough channel. *J. Water Power Dam Cons.* 27: 5. 186-191.
11. Najandali, A., Esmaili, K., and Farhoudi, J. 2012. The Effect of triangular blocks on the characteristics of hydraulic jump. *University of Mashhad, J. Water Soil.* 26: 2. 282-289. (In Persian)
12. Shafai Bejestan, M., and Nici, K. 2009. Effect of roughness shape on the sequent depth ratio of hydraulic jump. *J. Water Soil Sci.* 1: 1. 165-176. (In Persian)
13. Hosseini, S.M., and Abrishami, J. 2013. *Hydraulic Open Channel.* 31th Edition. Emam-Reza University Press. Mashhad. Iran. 470p. (In Persian)
14. Peterka, A.J. 1983. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipator.* U.S. Dept. of The Interior, Bureau of Reclamation, Washington, USA, 225p.
15. Rajaratnam, N. 1968. Hydraulic jumps on rough beds. *Trans. Eng. Inst. Canada,* 11: 2.1-8.
16. Ravar, Z., Farhoudi, J., and Najandali, A. 2011. Effect of Vertical Trapezoidal Rough Bed on Hydraulic Jump Characteristics and Energy Loss. *University of Mashhad, J. Water Soil.* 26: 1. 85-94. (In Persian)
17. Tokyay, N.D. 2005. Effect of channel bed corrugations on hydraulic jumps. *Global Climate Change Conference, EWRI, May 15-19, Anchorage, Alaska, USA, Pp:* 408-416.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(1), 2018

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12965.2762

Effect of the floating sphere objects flexible bearing length on the characteristic of the hydraulic jump

A. Varshosaz¹ and *J. Ahadian²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Hydraulic Structure, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran,

²Associate Prof., Dept. of Hydraulic Structure, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Received: 03.13.2017; Accepted: 03.07.2018

Abstract

Background and Objectives: The hydraulic jump is one of the applicable phenomenons in energy dissipation of rapid flows. The hydraulic jump is one of the rapid varied flows that with converting from the super-critical state of flow to the sub-critical state in a short distance results in sensible energy dissipation and increase of the flow depth. In this experimental study the hydraulic jump is formed on the smooth bed and the bed with attached floating objects. A set of sphere objects with a density lower than the density of the water were attached to the bed, where the bearing length had flexibility. The goal of this study is to investigate the sphere objects bearing length effect on the hydraulic jump length, the relative secondary depth and relative energy dissipation of hydraulic jump and finally comparing the obtained results with other related work.

Materials and Methods: The experiments were performed in a flume with transparent walls, 8 m length, 35 cm width and 40 cm heights. In order to form the hydraulic jump, the height of the walls were extended up to 80 cm in the beginning part of the flume and a shut with 30 degree angle and the height of 40 cm was set up. Then, for modeling the floating objects the size of the applicable diameter of the objects was set to 4 cm. To analyze the effective variables, the dimensional analysis using the Buckingham π -theorem was applied. In total 30 experiments were performed with bearing length and Froude number as variables, where 0 cm, 1.5 cm, 2.5 cm, 3.5 cm and 4.5 cm were considered as the values of bearing length and 5.1-8.3 was considered as the value interval for the Froude number.

Results: Based on the performed analysis, one of the main achieved results is that the flexibility and the oscillation in the applicable objects as the fixator of the jump results in the increase of energy dissipation while increasing the bearing length, results in the more energy dissipation. However, this effect is more significant for the Froude number between 5.1-7.5.

Conclusion: The obtained results show that the energy dissipation using the floating objects in average is around 69% that is approximately 10.2% greater than smooth bed. Additionally, other characteristics of the hydraulic jump were a part of the obtained results based on which, the length of the hydraulic jump and the relative secondary depth, respectively, in average are 35.5% and 19.3% lower than the classic stilling basin. It was observed that the bearing length has a significant effect on characteristics of the hydraulic jump, where as a result of changing the bearing length between the Froude number interval, 5.1-8.3, the jump length and relative secondary depth, respectively, decrease in maximum 19.1% and 15.2% compared to the bearing length of zero that does not have oscillation and in maximum the amount of energy dissipation difference is 10.6% greater than the bearing length of zero.

Keywords: Hydraulic jump, Flexible objects, Floating objects, Bearing length, Stilling basin

* Corresponding Author; Email: ja_ahadiyan@yahoo.com