



دانشگاه گواران، دانش‌پژوهی آب و خاک

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره پنجم، ۱۳۹۷

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

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

بررسی اثر بستر نفوذپذیر متخلخل در حوضچه آرامش بر مشخصات پرش هیدرولیکی

*نیمیا اکبری^۱، کاظم اسماعیلی^۲ و سعیدرضا خدائشناس^۳

^۱دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد،

^۲استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۷

چکیده

سابقه و هدف: یکی از کاربردهای مهم پرش هیدرولیکی کنترل فرسایش پایین دست کانال از سیستم‌های انتقال آب با سرعت بالا مانند تنداب‌ها و سرریزها به‌وسیله مستهلک کردن مقدار زیادی از انرژی جنبشی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش می‌باشد. حوضچه‌های آرامش معمولاً از بتن صاف و نفوذناپذیر ساخته می‌شوند که این امر مشکلاتی از نظر زیست‌محیطی و همچنین هزینه و صعوبت اجرا به دنبال دارد. این حوضچه‌ها ذاتاً زبرتر و نسبت به حوضچه‌های آرامش سنتی نفوذپذیر می‌باشند. در حال حاضر تأثیر نفوذپذیری کانال بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی مانند اعماق مزدوج و طول پرش نامشخص است. در این پژوهش مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بستر نفوذپذیر متخلخل به‌عنوان جایگزینی برای حوضچه‌های بتنی در اینگونه موارد مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: برای انجام آزمایش‌ها یک کانال آزمایشگاهی به طول ۶ متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر با جداره شیشه‌ای مجهز به مخزن تأمین هد به ارتفاع ۳ متر در ابتدای کانال در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه فردوسی مشهد طراحی و ساخته شد. دبی موردنیاز آزمایش‌ها توسط سیستم آبرسانی آزمایشگاه مجهز به پمپ سانتریفیوژ با توان ۱۰۰ لیتر بر ثانیه تأمین گردید. از دو دریچه کشویی در ابتدا و انتهای کانال به‌منظور ایجاد جریان فوق بحرانی، تنظیم عمق پایاب و تثبیت موقعیت پرش استفاده شد. از سه نوع شن خوب دانه‌بندی شده با میانگین قطر دانه‌بندی مختلف در محدوده ۹/۸ تا ۳۸ میلی‌متر با طول‌ها و ضخامت‌های متفاوت برای ایجاد بستر نفوذپذیر استفاده گردید. آزمایش‌ها برای پنج عدد فرود متفاوت در محدوده ۵/۳ تا ۷/۴ انجام شد. عمق اولیه، ثانویه و طول پرش برای هر آزمایش اندازه‌گیری شده و با نتایج حاصل از بستر صاف نفوذناپذیر مقایسه گردید.

یافته‌ها: نتایج آزمایش‌ها نشان داد که پارامترهایی مانند میانگین قطر دانه‌بندی بستر، طول و ضخامت بستر و عدد فرود جریان بر ابعاد پرش هیدرولیکی و میزان افت انرژی ناشی از آن مؤثرند. بزرگ‌تر شدن دانه‌بندی و همچنین طول یا

* مسئول مکاتبه: nima.akb@gmail.com

ضخامت بستر، سبب افزایش نفوذ جریان به داخل بستر شده، پرش را تضعیف و افت انرژی ناشی از آن افزایش می‌دهد، در نتیجه نسبت اعماق مزدوج و طول پرش کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نفوذپذیری بستر حوضچه آرامش سبب کاهش ابعاد پرش هیدرولیکی شده بطوریکه نسبت اعماق مزدوج در مقایسه با بستر صاف به‌طور میانگین $15/8$ درصد و نیز طول پرش به‌طور میانگین در حدود ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: بستر نفوذپذیر متخلخل، حوضچه آرامش، نسبت اعماق مزدوج

مقدمه

مزایای آن می‌باشد. این حوضچه‌ها به‌طور ذاتی زبرتر و دارای نفوذپذیری بیشتری نسبت به حوضچه‌های آرامش معمول هستند. استفاده از یک بستر سنگی اولاً می‌تواند بستر زبری در جهت مقاومت در برابر جریان ایجاد نماید و ثانیاً با نفوذ آب به محیط متخلخل از قدرت جریان کاسته می‌شود و می‌تواند موجب جلوگیری از انتقال رسوبات به رودخانه و کانال پایین‌دست شود. استفاده از یک حوضچه آرامش با بستر سنگی علاوه بر این‌که از هزینه‌های مربوط به احداث حوضچه تا حدود زیادی می‌کاهد، به‌نوعی با شرایط زیست‌محیطی مطابقت بیشتری دارد. به‌علاوه طراحی مناسب حوضچه آرامش می‌تواند بوم‌مناسبی برای ماهی‌ها در رودخانه ایجاد نماید. از این‌رو این نوع حوضچه را می‌توان به‌عنوان حوضچه‌های دوستدار طبیعت نیز تلقی کرد.

پرش تشکیل‌شده در یک کانال مستطیلی پهن با بستر مسطح اغلب به پرش کلاسیک تعبیر می‌شود و به‌صورت وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است (۲، ۵، ۷ و ۸). یک پژوهش مقدماتی توسط راجاراتنام (۱۹۶۸) نشان داد که اگر بستر کانال که پرش روی آن تشکیل می‌شود زبر باشد، عمق پایاب y_t مورد نیاز برای تشکیل پرش می‌تواند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کوچک‌تر از عمق ثانویه مانند y_2 برای یک زبری نسبی بستر بر حسب عمق زیربحرانی y_1 برابر با

از مهم‌ترین عوامل مؤثر در طراحی سازه‌های هیدرولیکی می‌توان کارایی مؤثر و بهینه متناسب با نیاز پروژه، سهولت اجرا و بهره‌برداری، هزینه‌های اندک اجرای طرح، مدت‌زمان کوتاه اجرا و انعطاف‌پذیری در مقابل عوامل خارجی را نام برد. حوضچه‌های آرامش نیز از این امر مستثنا نیستند. حوضچه آرامش پرش هیدرولیکی قسمت کوتاهی از یک کانال ساخته‌شده از بتن مسلح است که با طرح‌های مختلف در موقعیت‌هایی که جریان فوق بحرانی لازم است به آرامش نسبی برسد ساخته می‌شود. در این صورت جریان فوق بحرانی، قبل از رسیدن به قسمت‌های غیرکف‌سازی‌شده رودخانه به جریان زیربحرانی تغییر حالت داده و از انرژی فوق‌العاده آن کاسته و از خرابی‌های احتمالی جلوگیری می‌گردد (۳).

حوضچه آرامش نقش مهمی را هم در استهلاک انرژی و هم در کنترل فرسایش ایفا می‌کند. معمولاً حوضچه آرامش پرش هیدرولیکی از بتن نسبتاً مسطح و نفوذناپذیر ساخته می‌شود. استفاده از حوضچه‌های آرامش پرش هیدرولیکی به‌صورت سنگ‌چین یا ریپ رپ (Riprap) می‌تواند سازگاری بیشتری با محیط طبیعی رودخانه ایجاد کند و سهولت اجرا و هزینه‌های اجرای کم‌تر نسبت به حوضچه‌های آرامش بتنی از

همان‌طور که مشاهده شد تاکنون پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه طراحی و ایده‌های مرتبط با کاهش ابعاد حوضچه‌های آرامش و همچنین بررسی خصوصیات جریان و پدیده پرش هیدرولیکی پیشنهاد شده است که وجه تشابه همه آن‌ها نفوذپذیری ناپذیری کف حوضچه آرامش می‌باشد. در واقع جریان در این حوضچه‌ها از نوع جریان متغیر سریع (RVF) است و فرض می‌گردد که هیچ‌گونه دبی جریان در امتداد طولی کانال به کانال افزوده و یا از آن خارج نمی‌شود در حالی‌که در حوضچه آرامش با بستر نفوذپذیر متخلخل به دلیل وجود نفوذ جریان به داخل بستر، جریان در امتداد مسیر کاهش یافته و در نتیجه $\frac{dq}{dx} \neq 0$ است. در پژوهش حاضر تأثیر همزمان زبری بستر و نفوذپذیری بر روی ویژگی‌های پرش هیدرولیکی مانند نسبت اعماق مزدوج و طول پرش مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

۱- تحلیل ابعادی: با مطالعه و مروری بر پژوهش‌های گذشته و با توجه به مبانی هیدرولیک جریان روی بسترهای نفوذپذیر و متخلخل و پدیده پرش هیدرولیکی عمق ثانویه پرش هیدرولیکی روی بستر نفوذپذیر به عوامل زیر وابسته می‌باشد.

$$y_2 = f_1(y_1, V_1, g, \rho, \mu, t, l, d_{50}) \quad (1)$$

که در آن، y_1 عمق اولیه پرش هیدرولیکی، V_1 سرعت اولیه، g شتاب ثقل، ρ چگالی آب، μ لزجت سینماتیکی، t ضخامت بستر شنی، l طول بستر شنی و d_{50} میانگین قطر شن‌ها می‌باشد. با استفاده از تئوری باکینگهام عوامل بدون بعد به صورت زیر قابل استخراج است.

$$\frac{y_2}{y_1} = f_2 \left(Re = \frac{\rho V_1 y_1}{\mu}, Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}, \frac{t}{y_1}, \frac{l}{y_1}, \frac{d_{50}}{y_1} \right) \quad (2)$$

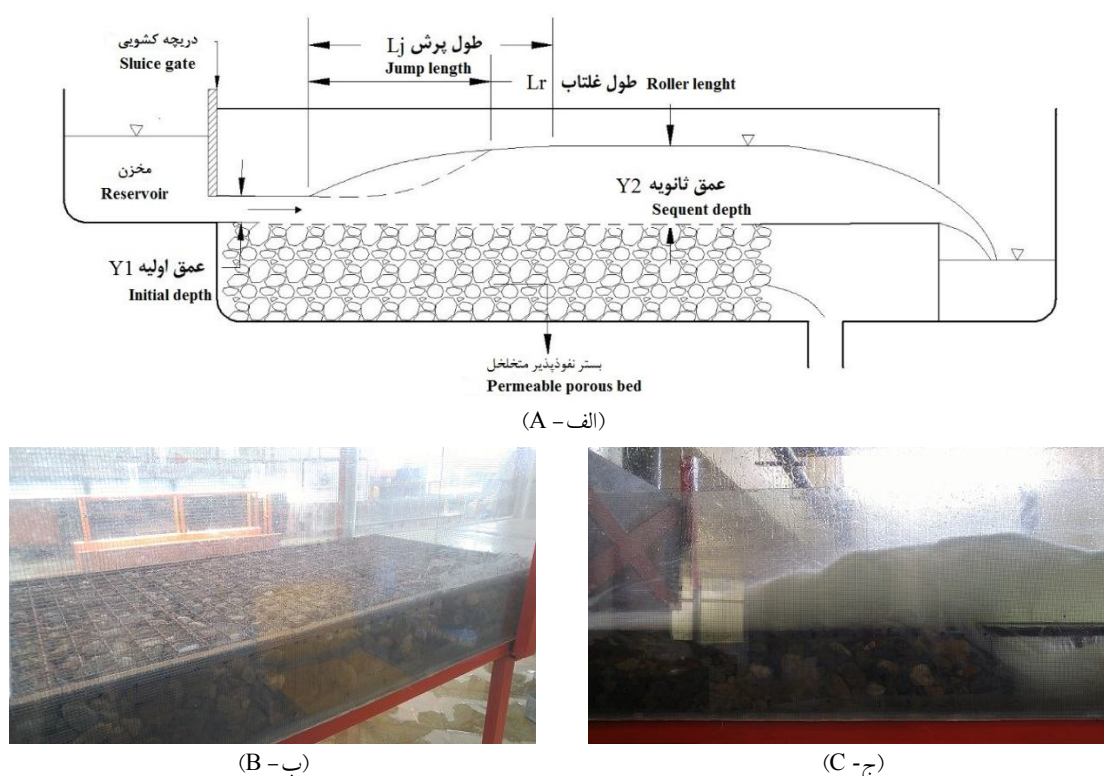
تقریباً 0.4 ، می‌تواند به اندازه y_2 0.8 کوچک‌تر باشد (۹). اهمیت موضوع مشخص می‌شود. پژوهش‌های پیش‌تر توسط هاگز و فلاک (۱۹۸۴) و دیگران (هاگر، ۱۹۹۲) این کاهش عمق پایاب مورد نیاز ایجادشده توسط زبری را تأیید کرده‌اند (۲ و ۴). بدیع‌زادگان و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش با بستر سینوسی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با به‌کارگیری بستر موج‌دار سینوسی در حوضچه آرامش، می‌توان شاهد کاهش نسبت اعماق ثانویه به اولیه تقریباً به میزان ۲۰ درصد در بیش‌ترین مقدار خود در حدود عدد فرود ۱۲ و کاهش طول پرش هیدرولیکی به میزان ۳۵ درصد نسبت به پرش کلاسیک در این نوع از حوضچه‌ها بود (۱). صالحیان و همکاران (۲۰۱۱) نتایج آزمایشگاهی بررسی تأثیر دو نوع زبری طبیعی بستر شامل رسوبات شکسته روی خصوصیات پرش هیدرولیکی شامل عمق‌های متناوب، طول غلتاب، طول پرش، افت انرژی نسبی پرش و تنش برشی را ارائه کردند. نتایج نشان داد که زبری‌ها می‌تواند باعث کاهش عمق متناوب پرش، طول غلتاب و طول پرش گردد (۱۰). شفاهی‌بجستان و نیسی (۲۰۰۹) یک حوضچه آرامش جدید پرش هیدرولیکی با بستر زیر را به منظور معرفی یک حوضچه جدید، مورد مطالعه قرار دادند. پرش هیدرولیکی روی بستری از زبری‌های منشوری در یک کانال مستطیلی به منظور بررسی تأثیر پرش روی خصوصیات حوضچه آرامش اجرا شد. هر کدام از زبری‌ها در اعداد فرود مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج آن‌ها نشان داد که وجود یک عنصر زیر می‌تواند نیروی برشی را افزایش دهد و متعاقباً طول پرش و عمق ثانویه را کاهش داد. در مقایسه با نتایج مطالعات پیشین پژوهش‌های آن‌ها نشان داد که با استفاده از بستر زیر جدید می‌توان طول حوضچه را تا ۴۰ درصد کاهش داد (۱۱).

در محل اتصال مخزن به کانال یک دریچه کشویی آب‌بندی‌شده جهت قابلیت تنظیم میزان بازشدگی دریچه با توجه به ارتفاع بستر نفوذپذیر کانال در آزمایش‌ها استفاده شد و همچنین جهت تنظیم عمق پایاب و تثبیت موقعیت پرش، یک دریچه کشویی قابل کنترل در پایین دست نصب گردید. دبی مورد نیاز آزمایش‌ها از طریق سیستم آبرسانی آزمایشگاه هیدرولیک که مجهز به پمپ سانتریفیوژ با توان آبدهی ۱۰۰ لیتر بر ثانیه و اینورتور برای تنظیم دور پمپ بود، تأمین می‌شد. در شکل (۱-الف) طرحی از کانال مورد استفاده در این پژوهش نشان داده شده است. شکل (۱-ب و ج) نیز به ترتیب نمونه‌ای از بستر آماده‌سازی شده جهت انجام آزمایش و پرش هیدرولیکی تشکیل شده در کانال را نشان می‌دهند.

و به دلیل آشفتگی جریان می‌توان از اثر لزجت صرف نظر کرد. بنابراین:

$$\frac{y_2}{y_1} = f_3 \left(Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g y_1}}, \frac{t}{y_1}, \frac{l}{y_1}, \frac{d_{50}}{y_1} \right) \quad (3)$$

۲- روش انجام آزمایش‌ها: به منظور انجام این پژوهش از یک کانال مستطیلی به طول ۶ متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر که دارای ارتفاع جداره ۸۰ سانتی‌متر بود، استفاده شد. هد مورد نیاز برای ایجاد جریان فوق بحرانی توسط مخزنی به ارتفاع ۳ متر و هم‌عرض با کانال که در ابتدای کانال نصب گردید تأمین گردید. از یک چهارچوب فلزی با طول و ارتفاع قابل تنظیم و دقیقاً هم‌عرض کانال، جهت شکل دادن به بستر شنی استفاده شد. جهت تثبیت سطح شنها و جلوگیری از جابجایی و فرسایش آنها در طول آزمایش، سطح چهارچوب توسط توری فلزی ضخیم پوشانده می‌شد.

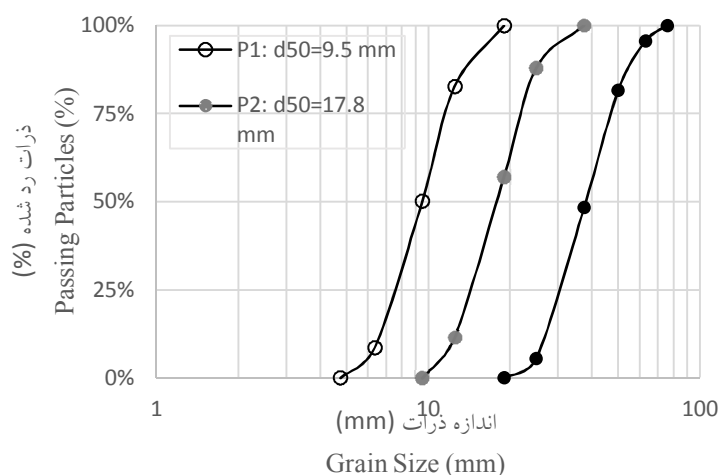


شکل ۱- الف: طرح کانال مورد استفاده در این پژوهش ب: نمونه‌ای از بستر آماده‌سازی شده جهت انجام آزمایش ج: پرش هیدرولیکی تشکیل شده در کانال.

Figure 1. A: Channel scheme used in this research B: A sample of the prepared bed for the experiments C: Hydraulic jump formed in the channel.

شده و سپس اقدام به اندازه‌گیری پارامترهای مختلف از جمله اعماق مزدوج و طول پرش می‌گردید. در این پژوهش از سه نوع شن با میانگین قطر (d_{50}) ۹/۵، ۱۷/۸ و ۳۸ میلی‌متر که به ترتیب با علامت‌های P_1 ، P_2 و P_3 در نمودارها نشان داده شده‌اند، استفاده گردید. منحنی دانه‌بندی شن مورد استفاده در آزمایش‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین با در نظر گرفتن سه طول متفاوت ۲۰، ۷۵، ۱۰۰ سانتی‌متر و سه ضخامت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر برای بستر شنی، میزان تأثیر طول و ضخامت بستر نفوذپذیر متخلخل در دانه‌بندی‌های مختلف بر روی مشخصات هیدرولیکی پرش مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۱ مشخصات بسترهای نفوذپذیر مورد استفاده در این پژوهش ارائه شده است.

برای اندازه‌گیری عمق جریان از اشل‌های شفاف مدرجی که در سراسر جداره شیشه‌ای کانال چسبانده شده بودند استفاده شد. همچنین در برخی از آزمایش‌ها، جهت اطمینان از صحت اندازه‌گیری‌ها از روش عکس‌برداری و نرم‌افزار گرافر جهت رقمی‌کردن تصاویر استفاده شد. بازشدگی دریاچه ورودی جریان از مخزن به کانال نیز به میزان ۱/۵ سانتی‌متر به‌طور ثابت تنظیم شد. نحوه انجام آزمایش‌ها به این صورت بود که جریان فوق بحرانی با عبور از زیر دریاچه کشویی ابتدای کانال برقرار شده و پرش هیدرولیکی بر روی بستر نفوذپذیر متخلخل تشکیل می‌گردید و سپس با تنظیم دریاچه کشویی انتهای کانال، پرش در فاصله مناسب از دریاچه که در این پژوهش ۵۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، تثبیت



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی بستر نفوذپذیر متخلخل.

Figure 2. Grain size distribution of porous bed.

جدول ۱- مشخصات بسترهای مورد استفاده در پژوهش.

Table 1. Specifications of beds used in the research.

									نام بستر
C ₃	C ₂	C ₁	B ₃	B ₂	B ₁	A ₃	A ₂	A ₁	Name of the bed
38	38	38	17.8	17.8	17.8	9.5	9.5	9.5	میانگین قطر دانه‌ها (d_{50}) (mm)
									Average diameter of the grains (d_{50}) (mm)
0.2	0.2	0.2	0.15	0.15	0.15	0.1	0.1	0.1	ضخامت بستر (m)
									Thickness of the bed (m)
1	0.75	0.5	1	0.75	0.5	1	0.75	0.5	طول بستر (m)
									Length of the bed (m)

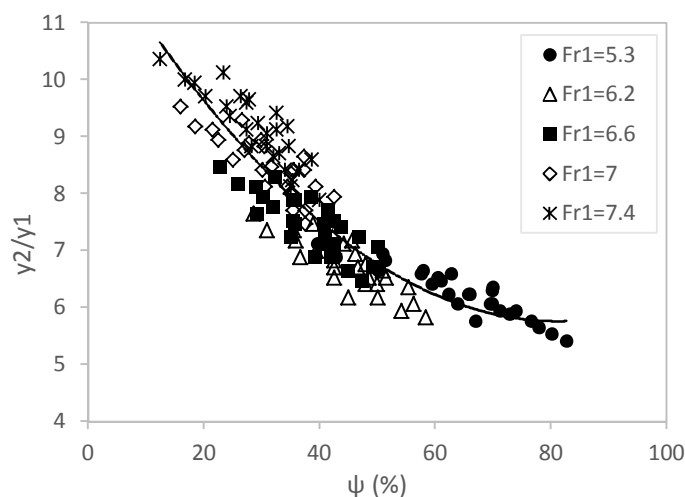
نتایج و بحث

۱- نسبت اعماق ثانویه به اولیه: با توجه به رابطه ۳ می‌توان نسبت عمق ثانویه به اولیه را تابعی از عدد فرود اولیه جریان، ضخامت و طول بستر نفوذپذیر متخلخل و میانگین قطر شن‌ها دانست. مقدار نفوذ جریان به درون بستر نیز خود تابعی از عوامل فوق می‌باشد. بنابراین نسبت اعماق مزدوج در بستر نفوذپذیر در واقع به میزان نفوذ جریان به درون بستر بستگی دارد. شکل ۳ تغییرات نسبت اعماق مزدوج را به ازای درصد جریان نفوذ کرده به درون بستر به کل جریان ورودی ($\psi = q/q_1$) نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش درصد نفوذ جریان به درون بستر، نسبت

اعماق مزدوج کاهش می‌یابد و هرچه عدد فرود جریان کم‌تر باشد مقدار این کاهش بیش‌تر است. به این دلیل که کاهش سرعت جریان در کانال سبب افزایش نفوذ جریان به داخل بستر شده و جریان عبوری از سطح بستر کاهش یافته و در نتیجه عمق ثانویه پرش کاهش می‌یابد. رابطه ۴ نحوه تغییرات نسبت اعماق مزدوج را به ازای درصد نفوذ جریان به داخل بستر نشان را با ضریب رگرسیون $83/6$ نشان می‌دهد.

$$\frac{y_2}{y_1} = 0.001\psi^2 - 0.1681\psi + 12.585 \quad (4)$$

$$R^2 = 0.836$$

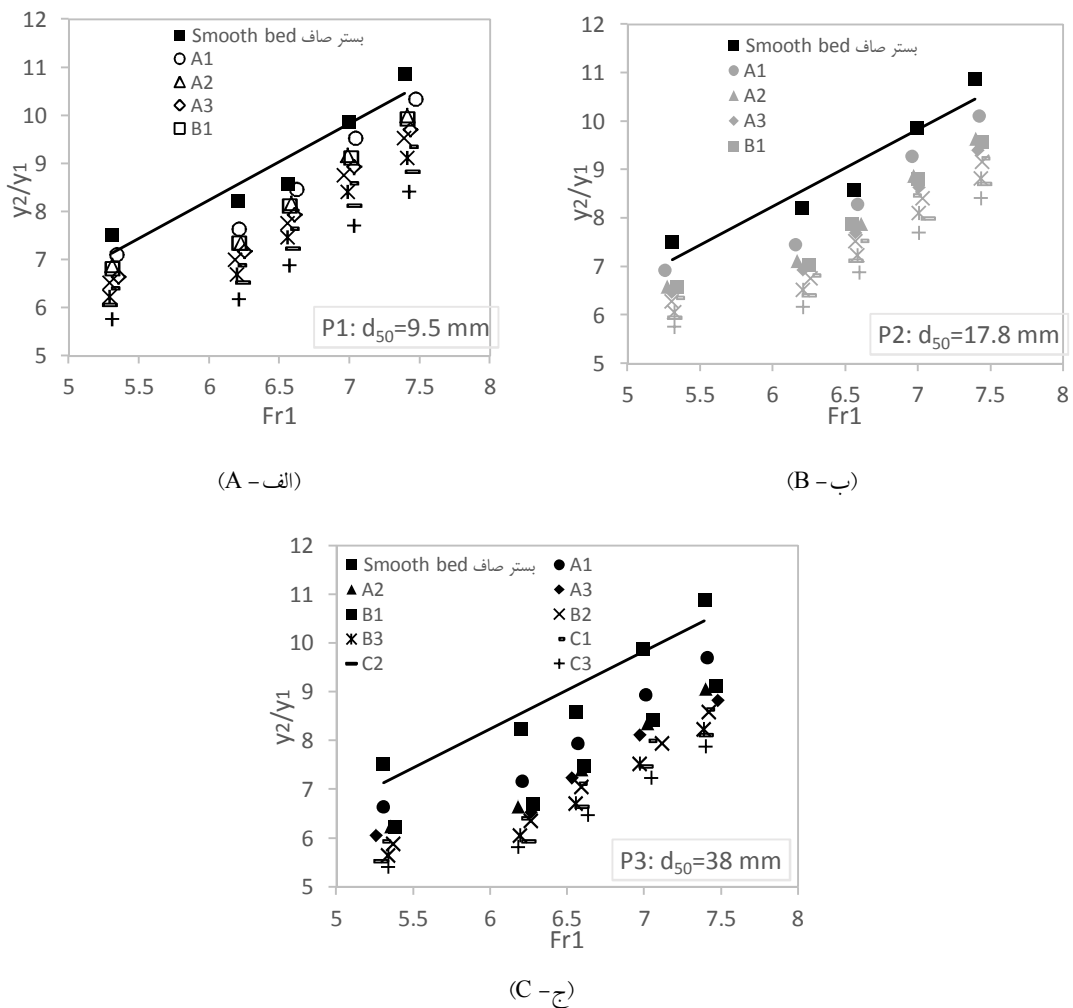


شکل ۳- تغییرات نسبت اعماق مزدوج به ازای درصد نفوذ جریان به داخل بستر.

Figure 3. Variation of sequent depth ratio versus the percentage of penetration into the bed.

می‌یابد ولی در مقایسه با بستر صاف کاهش نشان می‌دهد. این کاهش در بیش‌ترین حالت خود برای بستر با شن درشت‌دانه (P_3)، در ضخامت $0/2$ متر و با طول 1 متر و در حدود عدد فرود $6/2$ اتفاق می‌افتد که مقدار آن تقریباً برابر $29/3$ درصد می‌باشد. به‌طور میانگین نیز نسبت اعماق مزدوج برابر با $15/8$ درصد کاهش یافته است.

در شکل ۴ تغییرات عمق ثانویه به اولیه (نسبت اعماق مزدوج) در مقابل عدد فرود اولیه برای سه دانه‌بندی متفاوت در این پژوهش نشان داده شده و با نسبت اعماق مزدوج پرش روی بستر صاف نفوذناپذیر مقایسه شده است. چنانچه مشاهده می‌شود نسبت اعماق مزدوج در بسترهای نفوذپذیر متخلخل تابعی از عدد فرود اولیه جریان بوده و به‌صورت کلی با افزایش عدد فرود جریان افزایش



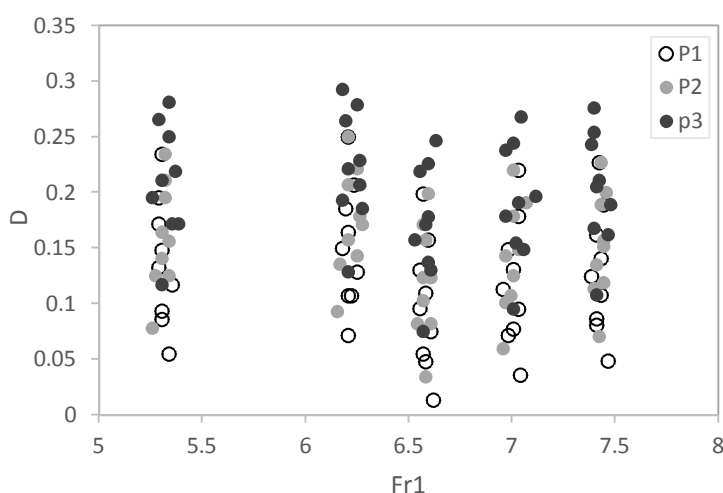
شکل ۴- تغییرات نسبت اعماق مزدوج به ازای عدد فرود اولیه الف: $d_{50}=9.5$ mm ب: $d_{50}=17.8$ mm ج: $d_{50}=38$ mm.
Figure 4. Variation of sequent depth ratio versus Froude number A: $d_{50}=9.5$ mm B: $d_{50}=17.8$ mm C: $d_{50}=38$ mm.

هیدرولیکی در بسترهای نفوذپذیر متخلخل نشان داده شده است. اندازه ضریب کاهش عمق ثانویه بین ۰/۰۱ و ۰/۲۹ است که بیشترین مقدار آن در عدد فرود ۶/۲ اتفاق می‌افتد. بسترهای نفوذپذیر متخلخل به‌طور متوسط ۱۶ درصد عمق ثانویه را نسبت به بستر صاف نفوذناپذیر کاهش می‌دهند.

اید و راجاراتنام (۲۰۰۲) پارامتر کاهش عمق نسبی را به‌صورت زیر معرفی نمودند:

$$D = \frac{y_2^* - y_2}{y_2^*} \quad (5)$$

که در آن، y_2^* عمق ثانویه پرش روی بستر صاف می‌باشد. در شکل ۵ مقدار کاهش عمق نسبی پرش

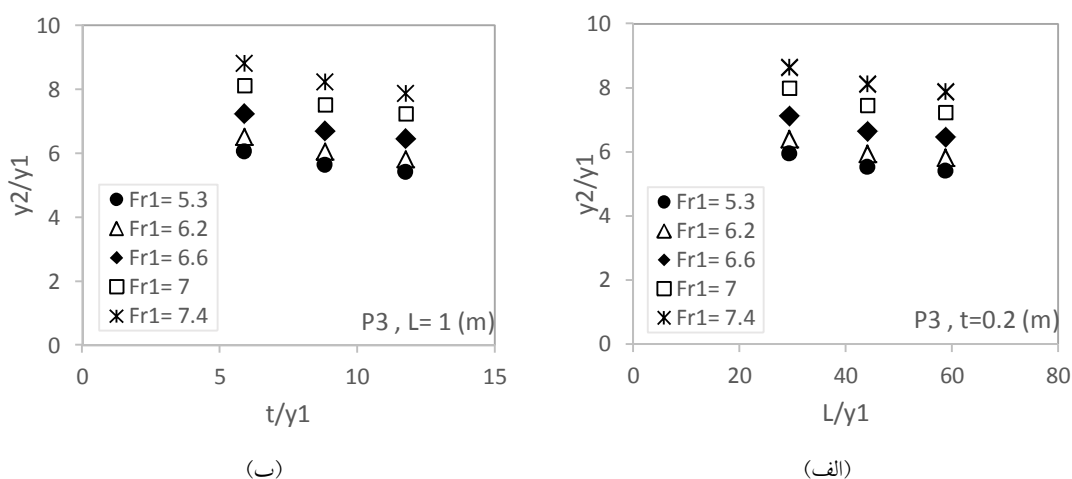


شکل ۵- تغییرات عمق نسبی پرش هیدرولیکی به‌ازای عدد فرود اولیه.

Figure 5. Changes in relative depth of hydraulic jump versus Froude number.

حداکثر درصد کاهش اعماق مزدوج نسبت به بستر صاف به‌ترتیب ۲۴/۲ درصد برای ضخامت ثابت $(t = 0.2 \text{ m})$ و طول متغیر و همچنین ۲۳/۴ درصد برای طول ثابت $(L = 1 \text{ m})$ و ضخامت متغیر می‌باشد که نشان از تأثیر تقریباً یکسان طول و ضخامت بستر نفوذپذیر متخلخل بر کاهش نسبت اعماق مزدوج در این پژوهش می‌باشد.

در شکل ۶ میزان تأثیر طول و ضخامت بستر نفوذپذیر متخلخل بر نسبت اعماق مزدوج به‌ترتیب در بیش‌ترین ضخامت $(t = 0.2 \text{ m})$ و بیش‌ترین طول بستر $(L = 1 \text{ m})$ و برای بزرگ‌ترین میانگین قطر دانه‌بندی بستر (P_3) به‌ازای اعداد فرود مختلف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش طول و ضخامت بستر نفوذپذیر متخلخل در اعداد فرود یکسان، نسبت اعماق مزدوج کاهش می‌یابد. که

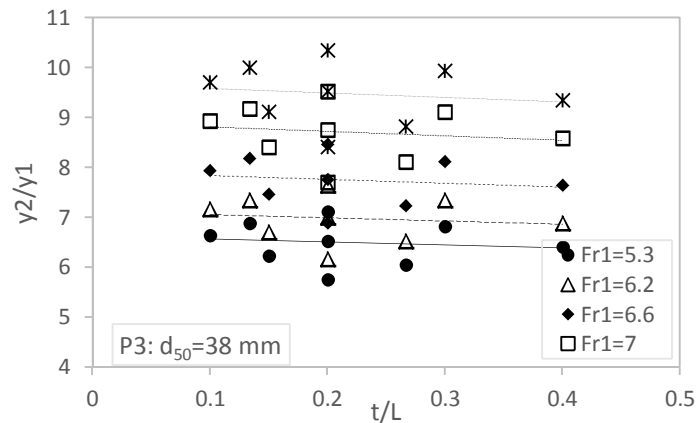


شکل ۶- تغییرات نسبت اعماق مزدوج در برابر الف- افزایش طول و ب- افزایش ضخامت بستر نفوذپذیر متخلخل.

Figure 6. Changes in sequent depth ratio versus A- Length increase and B- Thickness increase.

می‌شود که با افزایش نسبت ضخامت به طول بستر یا به عبارت دیگر با افزایش عمق نسبی بستر، نسبت اعماق مزدوج با شیب ملایمی کاهش یافته است. علت این امر، افزایش نفوذ جریان به داخل بستر و به تبع آن کاهش عمق ثانویه پرش و در نتیجه کاهش نسبت اعماق مزدوج پرش می‌باشد.

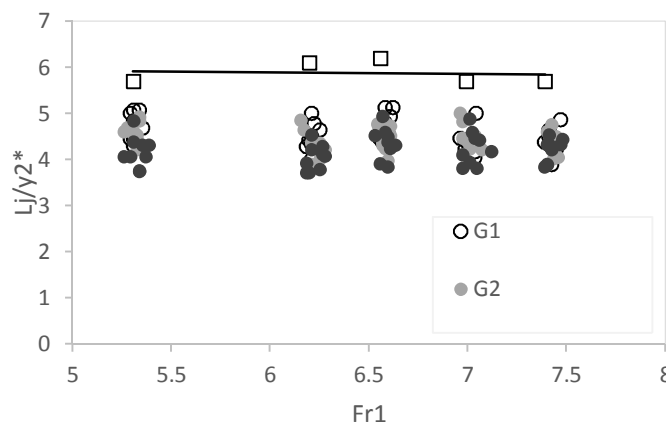
شکل ۷ نحوه تغییرات نسبت اعماق ثانویه به اولیه را به ازای افزایش نسبت ضخامت به طول بستر نفوذپذیر متخلخل (عمق نسبی بستر)، برای بزرگ‌ترین میانگین قطر دانه‌بندی بستر در این پژوهش (P_3)، نشان می‌دهد. خطوط ترسیم شده در نمودار نشان‌دهنده روند تغییرات می‌باشد. ملاحظه



شکل ۷- تغییرات نسبت اعماق مزدوج به ازای عمق نسبی بستر نفوذپذیر متخلخل.
Figure 7. Changes in sequent depths ratio versus relative depth of the bed.

۵/۹ می‌باشد که نشان‌دهنده تأثیر نفوذ جریان و میزان تخلخل بستر در کوتاه‌تر شدن طول پرش است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهند که طول پرش در بسترهای نفوذپذیر متخلخل حداکثر ۳۹ درصد و به‌طور میانگین ۲۵ درصد نسبت به بستر صاف کاهش می‌یابد.

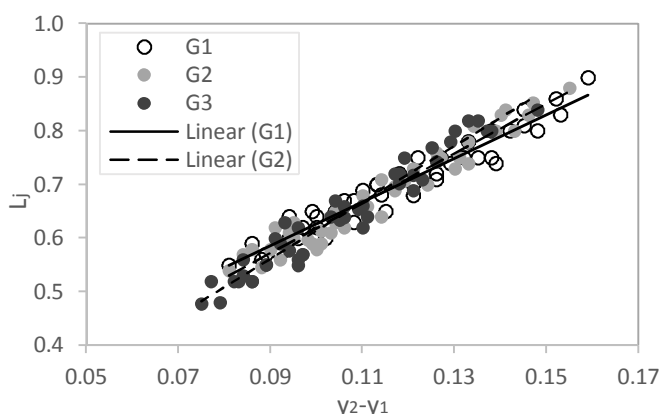
۲- طول پرش هیدرولیکی: در شکل ۸ تغییرات طول بی‌بعد شده پرش $\frac{L_j}{y_2^*}$ نسبت به افزایش عدد فرود نشان داده شده است که در آن عمق ثانویه پرش در بستر صاف و L_j طول پرش است. ملاحظه می‌شود که میانگین نسبت $\frac{L_j}{y_2^*}$ در بستر صاف برابر ۵/۹ است ولی مقادیر آن برای بسترهای نفوذپذیر متخلخل کم‌تر از



شکل ۸- تغییرات طول نسبی پرش هیدرولیکی به ازای عدد فرود اولیه.
Figure 8. Changes in relative length of hydraulic jump versus Froude number.

است که نشان‌دهنده پراکندگی بیش‌تر داده‌های حاصل بوده که علت آن نفوذپذیری بیش‌تر بستر و در نتیجه آشفته‌گی جریان و ناپایداری پرش که باعث دشواری اندازه‌گیری طول پرش می‌شود می‌باشد. در این پژوهش شیب‌خط بهترین برازش روی داده‌های حاصل از آزمایش‌ها مقدار $6.05 = \frac{L_j}{y_2 - y_1}$ به‌دست آمد.

همچنین در شکل ۹ طول پرش در مقابل اختلاف اعماق اولیه و ثانویه متناظر ترسیم شده است. خطوط ممتد و منقطع موجود در شکل نشان‌دهنده بهترین برازش موجود به روش حداقل مربعات می‌باشند. مشاهده می‌شود که شیب‌خط برای بستر نفوذپذیر متخلخل درشت‌دانه با میانگین قطر دانه‌های ۳۸ میلی‌متر (P_3) بیش از دو دانه‌بندی دیگر در این پژوهش

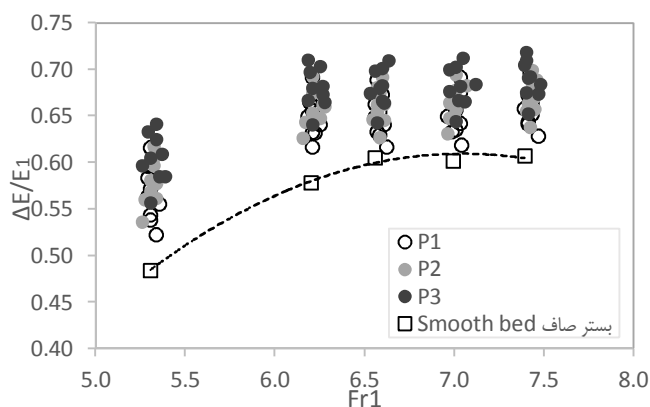


شکل ۹- طول پرش در مقابل اختلاف اعماق مزدوج.

Figure 9. Jump length versus sequent depth difference.

می‌توان با دقت خوبی یک منحنی چندجمله‌ای درجه دو را بر روی نتایج اتلاف انرژی حاصل از پرش هیدرولیکی برازش داد. مطابق این نمودار مشاهده می‌شود که میانگین اتلاف انرژی در اعداد فرود یکسان روی بسترهای نفوذپذیر متخلخل حدود ۱۴ درصد بیش از بستر صاف می‌باشد.

۳- اتلاف انرژی: اتلاف انرژی پرش هیدرولیکی ΔE برابر با اختلاف انرژی قبل و بعد از پرش هیدرولیکی $E_1 - E_2$ می‌باشد. شکل ۱۰ نمودار تغییرات اتلاف انرژی نسبی $\frac{\Delta E}{E_1}$ را به‌ازای اعداد فرود اولیه روی بسترهای نفوذپذیر متخلخل در مقایسه با بستر صاف نفوذناپذیر نمایش می‌دهد. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که



شکل ۱۰- تغییرات اتلاف انرژی نسبی پرش هیدرولیکی به‌ازای عدد فرود اولیه.

Figure 10. Changes in relative energy dissipation of hydraulic jump versus Froude number.

نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر بستر نفوذپذیر متخلخل حوضچه آرامش بر مشخصات پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نفوذپذیری بستر حوضچه آرامش سبب کاهش ابعاد پرش هیدرولیکی شده به طوری که اندازه این تغییرات به میانگین قطر دانه بندی بستر و همچنین طول و ضخامت بستر بستگی دارد. با توجه به نمودارهای به دست آمده مشاهده می شود که در اعداد فرود یکسان با افزایش میانگین قطر دانه بندی بستر، نفوذ جریان افزایش یافته و در نتیجه نسبت اعماق مزدوج

کاهش می یابد که مقدار این کاهش به طور میانگین ۱۵/۸ درصد بوده و در بیشترین مقدار خود به ۲۹/۳ درصد می رسد. طول پرش نیز در مقایسه با بستر صاف به طور میانگین در حدود ۲۵ درصد کاهش می یابد. همچنین پژوهش ها نشان داد که با افزایش نفوذ جریان در بستر به علت افزایش قطر دانه بندی یا افزایش طول و ضخامت بستر نفوذپذیر میزان افت انرژی افزایش یافته و به طور میانگین در حدود ۱۴ درصد بیش تر از بستر صاف می باشد.

منابع

1. Badizadegan, R., Esmaeili, K., Maghrebi, M.F., and Saneie, M. 2011. Hydraulic jump properties in irrigation canals with corrugated bed. J. Water Soil. 25: 3. 676-687. (In Persian)
2. Hager, W.H. 1992. Energy dissipaters and hydraulic jump. Kluwer Academic, Dordrecht, the Netherlands.
3. Hosseini, S.M., and Abrishami, J. 1999. Open channel hydraulics. Second Edition. Astan Quds Razavi publications, Mahhad, Iran.
4. Hughes, W.C., and Flack, J.E. 1984. Hydraulic jump properties over a rough bed. J. Hydr. Engin. 110: 12. 1755-1771.
5. McCorquodale, J.A. 1986. Chapter 8: Hydraulic jumps and internal flows. Encyclopedia of fluid mechanics, N.P. Chermisinoff, ed., Vol. 2, Gulf Publishing, Houston, Pp: 120-173.
6. Pagliara, S., Palermo, M., and Das, R. 2015. Eco-friendly countermeasures for enlarged basins erosion. J. River Res. Appl. 32: 3. 441-451.
7. Peterka, A.J. 1958. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters. Engineering Monograph No. 25, U.S. Bureau of Reclamation, Denver.
8. Rajaratnam, N. 1967. Hydraulic jumps. Advances in Hydrosience, 4: 197-280.
9. Rajaratnam, N. 1968. Hydraulic jumps on rough beds. Transportation Engineers Institute, Canada, 11: A-2. 1-8.
10. Salehian, S., Shafai-Bajestan, M., Mousavi-Jahromi, H., Kashkooli, H., and Kashefipour, S.M. 2011. Hydraulic jump characteristics due to natural beds. World Appl. Sci. J. 13: 5. 1005-1011.
11. Shafai-Bajestan, M., and Neisi, K. 2009. A new roughened bed hydraulic jump stilling basin. Asi. J. Appl. Sci. 2: 5. 436-445.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(5), 2019

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

DOI: 10.22069/jwsc.2018.12334.2691

Investigating the effect of porous permeable bed in the stilling basin on the hydraulic jump characteristics

***N. Akbari¹, K. Esmaili² and S.R. Khodashenas³**

¹Ph.D. Student, Dept. of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad,

²Associate Prof., Dept. of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad,

³Professor, Dept., of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

Received: 02.04.2018; Accepted: 09.18.2018

Abstract

Background and Objectives: One of the major applications of hydraulic jump is controlling of channel scour downstream from high-velocity conveyance systems such as chutes and spillways by dissipating a large portion of the kinetic energy in a hydraulic jump stilling basin. Hydraulic jump stilling basin are usually made of smooth and impenetrable concrete, which causes environmental problems as well as cost and construction problems. It is becoming more common to use hydraulic jump stilling basins in natural rip-rap lined or bound rock channels. These basins are inherently rougher and permeable compared to traditional basins. At present the influence of channel permeability on the hydraulic jump characteristics such as sequent depth and jump length is unknown. In this research hydraulic jump characteristics in a stilling basin with porous permeable bed as an alternative to concrete basins is studied.

Materials and Methods: To conduct the experiments a laboratory flume of 6 meters long and 80 centimeters wide with glass walls, equipped with a head tank up to 3 meters high was designed and built at Ferdowsi University's hydraulic laboratory. The flow rate required for the experiments was supplied by a centrifuge pump with a capacity of 100 liters per second. Two slice gates were used at the beginning and at the end of the flume to develop super-critical flow and adjust the downstream depth and fix the jump position. Three different types of well-granulated gravel in the range of 9.8 to 38 millimeters with different lengths and thicknesses were used to create the permeable bed. The experiments were carried out for five different Froude numbers within the range of 5.3 to 7.4. Primary, secondary and jump lengths were measured for each experiment and compared with the results of a non-permeable smooth bed.

Results: The results showed that parameters like average diameters of the grains, thickness and length of the bed and the Froude number affects the jump dimensions and the energy loss caused by it. Greater granulation as well as the thickness or the length of the bed increases the penetration of the flow into the bed, weakens the jump and increases the energy loss. So the ratio of the conjugate depths and the length of the jump decreases.

Conclusion: Permeability of the bed reduces the hydraulic jump dimensions so that the sequent depth ratio is reduced by an average of 15.8 percent compared to smooth bed and also the jump length is reduced by about 25 percent.

Keywords: Hydraulic jump, Permeable bed, Porosity, Stilling basin

* Corresponding Author; Email: nima.akb@gmail.com