



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴

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

مطالعه آزمایشگاهی اثر تمایل بلوک‌ها بر مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش تیپ سه USBR

*زهرا اشکو^۱، احمد احمدی^۲ و امیراحمد دهقانی^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود، آدانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه شاهرود،

^۲ آدانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۶/۳

چکیده

سابقه و هدف: یکی از روش‌های متداول برای استهلاک انرژی جنبشی جریان در پایین‌دست سازه‌های آبی در حوضچه‌های آرامش پرش هیدرولیکی می‌باشد. پارامترهایی چون طول پرش، نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه و میزان افت انرژی از جمله پارامترهای مهمی هستند که بر اقتصادی‌کردن سازه حوضچه آرامش تأثیر فراوانی دارند. از نظر تاریخی، نخستین بار پرش هیدرولیکی توسط بیدون در سال ۱۸۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. از آن زمان تاکنون، پژوهشگران زیادی با به‌کارگیری زبری‌های مکعبی، لوزی و ذوزنقه‌ای شکل، بلوک‌های دارای انحنا در وجه بالادست و بلوک‌های بدون انحنا، بستر موجدار سینوسی، نوارهایی با مقطع ذوزنقه‌ای، دیوارهای ممتد و زبری‌های نواری مستطیلی خصوصیات این پدیده را مطالعه کرده‌اند. با این وجود، علی‌رغم گذشت دو قرن از شروع مطالعات در مورد پرش هیدرولیکی، هنوز مسائل ناشناخته‌ای در مورد آن وجود دارد که پژوهشگران را برای ادامه پژوهش ترغیب می‌نماید. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تغییر زاویه بلوک‌های میانی در حوضچه آرامش USBR III بر مشخصه‌های پرش است.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌های این پژوهش در کانال آزمایشگاهی با دیواره‌های شفاف و بستر صاف با مقطع مستطیلی به عرض یک متر، عمق ۸۵ سانتی‌متر و طول ۱۵ متر صورت گرفت. مدل شامل مخزن تأمین آب، دریچه کشویی لبه تیز با بازشدگی ثابت ۳ سانتی‌متر و یک دریچه پروانه‌ای در انتهای پایین‌دست کانال برای تنظیم عمق پایاب و فلومتر برای اندازه‌گیری دبی جریان است. بخشی از ابتدای کانال که بلافاصله بعد از دریچه مخزن قرار دارد، به‌عنوان حوضچه آرامش در نظر گرفته شده، سپس بلوک‌های میانی و آبپایه انتهایی بر مبنای ابعاد استاندارد حوضچه آرامش USBR III داخل کانال نصب گردید. در این مطالعه بلوک‌های میانی در دو وضعیت واگرا و همگرا نسبت به محور مرکزی کانال قرار داده شد و در هر وضعیت ۸ زاویه استقرار ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درجه برای بلوک‌ها در نظر گرفته شد. پس از برقراری دبی مورد نظر، دریچه انتهایی فلوم برای تشکیل پرش غیرمستغرق با پنجه قرار گرفته در ابتدای فلوم در زیر دریچه بالادست تنظیم گردید و مقادیر دبی جریان، طول پرش، عمق آب اولیه و ثانویه

* مسئول مکاتبه: z.eshkou@gmail.com

پرش اندازه‌گیری و عکس‌برداری متوالی از پروفیل پرش انجام شد. دامنه تغییرات مقادیر دبی و عدد فرود از ۳۹ تا ۸۱/۷ و ۴/۴۴ تا ۸/۵۶ بود. در مجموع ۱۸۰ آزمایش برای پرش‌های کلاسیک، تیپ سه استاندارد و وضعیت‌های واگرا و همگرا انجام شد.

یافته‌ها: در وضعیت همگرا با افزایش زاویه استقرار بلوک‌ها تا ۳۰ درجه، طول پرش به مقدار قابل‌ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و با افزایش بیش‌تر زاویه بلوک‌ها، جبهه پرش از دیواره‌های قائم کانال جدا شده و به سمت خط مرکزی کانال منحرف شده و نهایتاً طول پرش افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهند که افزایش زاویه استقرار بلوک‌ها تا ۳۰ درجه در حالت همگرا باعث کاهش طول پرش به میزان متوسط ۴۰ درصد و کاهش نسبت عمق ثانویه به میزان ۱۰ درصد می‌گردد و افت انرژی نسبی را به ۷۵ درصد می‌رساند. میزان این تغییرات در زاویه همگرایی بلوک ۳۰ درجه با افزایش عدد فرود، برای افت انرژی نسبی و طول نسبی پرش افزایش و برای نسبت عمق ثانویه کاهش می‌یابد. علت اصلی کاهش طول پرش به علت تشدید جریان‌های ثانویه ناشی از تمایل بلوک‌ها در زاویه ۳۰ درجه است. همچنین در وضعیت واگرا برای همه زوایای استقرار بلوک‌ها افزایش طول پرش مشاهده گردید.

واژه‌های کلیدی: پرش هیدرولیکی، حوضچه آرامش USBR III، بلوک‌های کف حوضچه، زاویه استقرار

مقدمه

اهمیت بیش‌تری برخوردار می‌باشند. از این‌رو، پژوهشگران سعی نموده‌اند که در پژوهش‌های خود ضمن مطالعه روند تغییرات این پارامترها تحت شرایط هیدرولیکی و هندسی مختلف، به روابط تئوری، تجربی و یا ترکیبی از هر دو برای برآورد این پارامترها به منظور طراحی حوضچه‌های آرامش دست یابند. به‌کارگیری بلوک‌های میانی و دیواره انتهایی از جمله تمهیداتی بوده است که در حوضچه‌های تیپ دو، سه و چهار USBR و SAF به منظور افزایش افت انرژی به‌کار گرفته شده است (8). در ادامه، به برخی از پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص تأثیر بلوک‌ها بر پارامترهای پرش هیدرولیکی اشاره می‌شود.

محمدعلی (1991) در پژوهش‌های خود نشان داد که طول پرش هیدرولیکی به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با استفاده از زبری‌های مکعبی کاهش می‌یابد (6). الوبایدی و همکاران (1999) به بررسی آزمایشگاهی اثر اندازه نسبی و انحنا بلوک‌های دارای انحنا در

پرش هیدرولیکی، یکی از مهم‌ترین پدیده‌ها در جریان متغیر سریع است. این پدیده به‌عنوان مستهلک‌کننده انرژی در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی نظیر دریچه‌های آبیاری، سرریزها و تندآب‌ها استفاده می‌شود. ابعاد حوضچه آرامش به مشخصات پرش هیدرولیکی به‌خصوص طول و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی بستگی دارد. از نظر تاریخی، نخستین بار پرش هیدرولیکی توسط بیدون در سال ۱۸۱۸ مورد بررسی قرار گرفت. از آن زمان تاکنون، پژوهشگران زیادی شرایط و خصوصیات این پدیده مطالعه کرده‌اند. با وجود این، علی‌رغم گذشت نزدیک به دو قرن از شروع مطالعات در مورد پرش‌های هیدرولیکی، هنوز مسائل ناشناخت‌های در مورد آن وجود دارد که پژوهشگران را برای ادامه پژوهش در این زمینه ترغیب می‌نماید.

در مطالعه پرش هیدرولیکی پارامترهای نسبت عمق ثانویه، طول نسبی پرش و افت نسبی انرژی از

وجه بالادست بر اتلاف انرژی و کنترل پرش هیدرولیکی پرداخته‌اند و نتیجه گرفته‌اند بلوک‌های دارای انحنا عموماً در کاهش انرژی جنبشی پایین دست نسبت به بلوک‌های بدون انحنا مؤثرترند و باعث کاهش پتانسیل فرسایش پایین دست کانال می‌گردد (3). اید و راجاراتنام (2002) به بررسی پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج‌دار پرداختند و مشاهده کردند که عمق ثانویه پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج‌دار کوچک‌تر از بستر صاف است و توضیح دادند که دلیل کاهش عمق ثانویه پرش، زیاد شدن تنش برشی بستر است که در بستر زیر در حدود ۱۰ برابر بستر صاف می‌باشد. طول پرش نیز در بستر موج‌دار نصف بستر صاف به دست آمد (2).

بیرامی و ایلاقی (2005) کنترل پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش افقی سرریز اوجی استاندارد را با استفاده از یک و دو دیواره ممتد مورد بررسی قرار دادند. داده‌های ایشان نشان داد که کوتاه بودن فاصله دیواره تا پنجه پرش و به‌خصوص افزایش ارتفاع دیواره نقش کاهنده عمق ثانویه و طول گرداب پرش را دارد و باعث افزایش افت انرژی می‌شود. درحالی که آستانه در داخل محدوده مؤثر پرش قرار می‌گیرد اثر آستانه افزایش یافته و جریان تحتانی به سمت سطح آب منحرف می‌شود و در نتیجه موج ساکنی در پایین دست آستانه به وجود می‌آید (1). ایزدجو و شفعا بیجستان (2007) با انجام ۴۲ آزمایش روی ۶ نوع بستر با زبری‌های دوزنقه‌ای شکل در محدوده عدد فرود ۴ تا ۱۲ نشان دادند که تحت تأثیر زبری‌های با مقطع دوزنقه‌ای، طول پرش ۵۰ درصد و عمق مزدوج پرش، ۲۰ درصد کاهش می‌یابد (5). گوهری و فرهودی (2009) خصوصیات پرش هیدرولیکی را بر روی بسترهایی با زبری‌های نواری مستطیلی در محدوده اعداد فرود ۳ تا ۱۰ مورد مطالعه قرار دادند و

مشاهده کردند که عمق ثانویه پرش بر روی سطوح زیر در مقایسه با سطوح صاف کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد و این کاهش با افزایش فاصله بین زبری‌ها، شدت می‌یابد. همچنین پی بردند تغییر ارتفاع زبری‌ها اثر چندانی بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی ندارد. آن‌ها نتیجه گرفتند که ضریب تنش برشی کف نیز بر روی بسترهای زیر به مراتب بیش‌تر از بسترهای صاف و در حدود ۹ برابر می‌باشد (4). شفعا بیجستان و نیسی (2009) با انجام ۴۸ آزمایش در محدوده اعداد فرود بین ۴/۹ تا ۱۲/۴ روی مدل فیزیکی حوضچه آرامش با زبری‌های لوزی شکل مشاهده کردند که این زبری‌ها می‌توانند طول حوضچه را ۴۱ درصد و طول غلتاب را ۳۴ درصد کاهش دهند که در مقایسه با حوضچه‌های USBR و SAF طول پرش کم‌تر است. همچنین به‌طور متوسط ۲۴/۲ درصد کاهش در عمق مزدوج پرش حاصل می‌شود (9). نصر اصفهانی و شفعا بیجستان (2012) اثر سطح زیر (بلوک‌ها) بر مشخصه‌های پرش هیدرولیکی در یک پایین افتادگی ناگهانی (پله منفی) را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایشگاهی ایشان نشان داد که زبری سطح حوضچه آرامش می‌تواند طول پرش را تا میزان ۴۰ درصد کاهش دهد (7).

از آنجا که تاکنون پژوهشی در خصوص تغییر زاویه استقرار بلوک‌های میانی انجام نشده است، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تغییر زاویه بلوک‌های میانی بر مشخصه‌های پرش است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی: مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی حوضچه آرامش USBR III با تغییر زاویه بلوک‌های میانی تابعی از خصوصیات سیال، مشخصات فیزیکی بلوک‌ها و شرایط هیدرولیکی جریان می‌باشد. عمق

$$\frac{L_j}{y_2} = f_4\left(Fr_1, \frac{h}{s}, \alpha\right) \quad (4)$$

تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌های این پژوهش در کانال آزمایشگاهی به طول ۱۵ متر، عرض یک متر و عمق ۸۵ سانتی‌متر صورت گرفت. کانال آزمایشگاهی شامل مخزن تأمین آب، دریچه کشویی لبه تیز با بازشدگی ثابت ۳ سانتی‌متر، کانال مستطیلی با دیواره‌های شفاف و یک دریچه پروانه‌ای در انتهای کانال پایین‌دست برای تنظیم عمق پایاب و فلومتر برای اندازه‌گیری دبی جریان است (شکل ۱). بخشی از ابتدای کانال که بلافاصله بعد از دریچه مخزن قرار دارد، به‌عنوان حوضچه آرامش در نظر گرفته شده، سپس بلوک‌های میانی (baffels) و آبپایه انتهایی (sill) بر مبنای ابعاد استاندارد حوضچه آرامش تیپ USBR III داخل کانال نصب گردید. در آزمایش‌ها به‌ازای ۱۰ مقدار دبی ایجاد شده در کانال و پس از شکل‌گیری درست پرش، مقادیر طول پرش (L_j)، عمق ثانویه پرش (y_2) و عمق اولیه پرش (y_1) برداشت گردید. دامنه تغییرات مقادیر دبی و عدد فرود از ۳۹ تا ۸۱/۷ و ۴/۴۴ تا ۸/۵۶ بود.

ثانویه پرش y_2 ، در بستر با بلوک به ارتفاع h و فواصل s از یکدیگر و زاویه استقرار α ، شتاب ثقل زمین g ، عمق اولیه y_1 و سرعت اولیه u_1 بستگی دارد. پارامترهای مؤثر در پرش هیدرولیکی در بستر با بلوک را به‌صورت تابع زیر می‌توان نشان داد:

$$y_2 = f_1(y_1, u_1, h, s, g, \nu, \alpha, \rho) \quad (1)$$

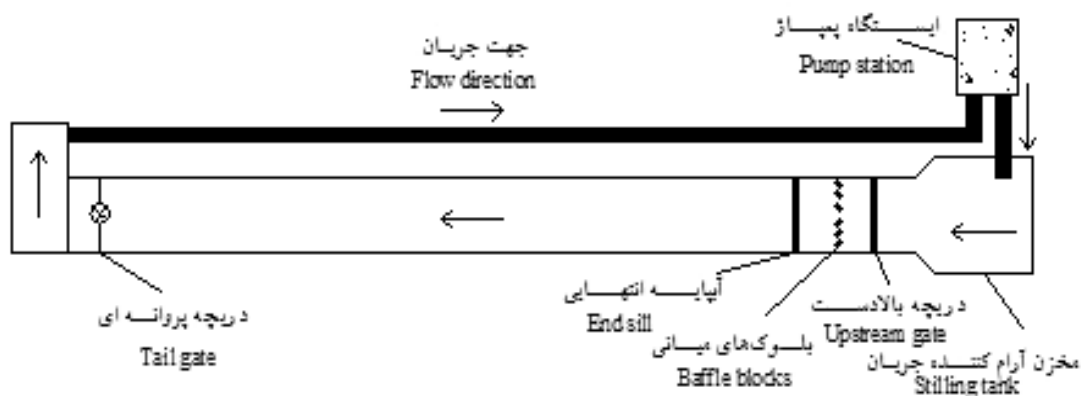
با استفاده از روش با کینگهام تابع زیر را می‌توان به‌دست آورد:

$$\frac{y_2}{y_1} = f_2\left(\text{Re}, Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{g y_1}}, \frac{h}{y_1}, \frac{s}{y_1}, \alpha\right) \quad (2)$$

چون مقادیر اعداد رینولدز در آزمایش‌های انجام شده بزرگ است می‌توان از اثر لزجت چشم‌پوشی کرد و رابطه ۲ به‌صورت زیر ساده می‌شود:

$$\frac{y_2}{y_1} = f_3\left(Fr_1, \frac{h}{y_1}, \frac{s}{y_1}, \alpha\right) \Rightarrow \frac{y_2}{y_1} = f_3\left(Fr_1, \frac{s}{h}, \alpha\right) \quad (3)$$

به‌طور مشابه طول پرش هیدرولیکی L_j با استفاده از تحلیل ابعادی به فرم زیر است:



شکل ۱- نمایی شماتیک از پلان کانال آزمایشگاهی.

Figure 1. Schematic plan of the experimental flume.

با تغییر زاویه بلوک‌ها شرایط پرش متفاوت خواهد بود. در وضعیت همگرا تا زاویه استقرار ۳۰ درجه الگوی جریان مطابق شکل ۳-الف بوده و افزایش بیش‌تر زاویه منجر به تغییر الگوی جریان به شکل ۳-ب خواهد شد. در این حالت طول و عمق ثانویه پرش در رأس جبهه پیشانی پرش اندازه‌گیری می‌شود. در وضعیت استقرار واگرای بلوک‌ها، الگوی جریان در تمامی زوایا مشابه شکل ۳-ب بوده است.

برای ثبت عمق جریان در طول پرش، از یک عمق سنج دیجیتال که بر روی سیستم ریلی موجود بر روی حوضچه آرامش قرار داشت، استفاده شد. این عمق‌سنج با دقت ± 0.1 میلی‌متر امکان برداشت عمق‌های اولیه و ثانویه پرش را فراهم می‌کرد. پروفیل پرش با عکسبرداری دیجیتالی و رقومی کردن آن توسط نرم‌افزار گرافر اندازه‌گیری گردید. طول پرش معادل فاصله از ابتدای پرش تا مکانی که غلظت حباب‌های هوا کم و سطح آب تقریباً افقی شود، در نظر گرفته شد و از طریق اشل نواری نصب شده بر روی بدنه فلوم با دقت ± 1 میلی‌متر اندازه‌گیری گردید.

معیار انتخاب ابعاد و فواصل بلوک‌ها و آبپایه انتهایی حوضچه آرامش USBR III بوده است. در این مطالعه بلوک‌های میانی در دو وضعیت واگرا و همگرا نسبت به محور مرکزی کانال قرار داده شد و در هر وضعیت ۸ زاویه استقرار ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ و ۸۰ درجه برای بلوک‌ها در نظر گرفته شد و مشخصات پرش اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

در هر آزمایش ابتدا بلوک‌های میانی در وضعیت واگرا یا همگرا، در زاویه مشخص و در فاصله $0.18 y_2$ از دریچه بالادست نصب گردید. سپس آبپایه انتهایی با محاسبه تئوری طول پرش از گراف‌های USBR III در محل انتهای پرش حوضچه USBR III نصب گردید. پس از برقراری دبی مورد نظر، دریچه انتهایی فلوم برای تشکیل پرش غیرمستغرق با پنجه قرار گرفته در ابتدای فلوم در زیر دریچه بالادست تنظیم گردید و مقادیر دبی جریان، طول پرش، عمق آب اولیه و ثانویه پرش اندازه‌گیری شد. همچنین عکسبرداری متوالی از پروفیل پرش انجام شد و این مراحل برای دبی‌های مختلف تکرار گردید. در مجموع ۱۸۰ آزمایش برای پرش‌های کلاسیک، USBR III و وضعیت‌های واگرا و همگرا انجام شد.



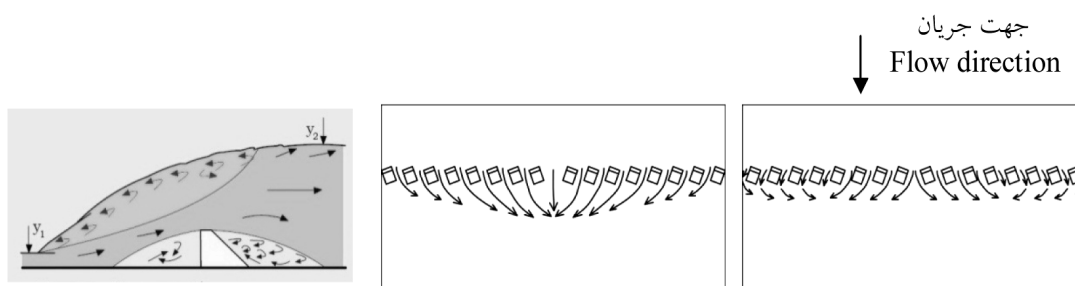
ب) وضعیت واگرای بلوک‌ها.

Figure 2. a) converge position of blocks



شکل ۲-الف) وضعیت همگرای بلوک‌ها

b) diverge position of blocks.



شکل ۳- الف) وضعیت جریان در حالت همگرا تا زاویه استقرار ۳۰ درجه، ب) وضعیت جریان در حالت واگرا و ج) الگوی تعریف جریان اطراف بلوک.

Figure 3. a) Flow condition in converge position up to placement angle of 30 degree, b) Flow condition in diverge position and c) Definition sketch of flow around blocks.



شکل ۴- مقطع طولی جریان.

Figure 4. Longitudinal section of flow.

نتایج و بحث

در این مطالعه به منظور بررسی اثر تغییر زاویه استقرار بلوک‌های میانی حوضچه آرامش تیپ USBR III بر مشخصات پرش هیدرولیکی، مجموعاً ۱۸۰ آزمایش در دامنه اعداد فرود اولیه $4/44$ تا $8/56$ و برای زوایای واگرایی و همگرایی بلوک‌های میانی (α) ۱۰ تا ۸۰ درجه انجام گردید. به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، برای هر موقعیت قرارگیری شکل‌های مربوط به نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه، طول نسبی و افت نسبی انرژی پرش آزاد (کلاسیک) و پرش کنترل شده به وسیله آستانه لبه تیز و بلوک‌ها در زوایای مختلف ترسیم شده‌اند. در جدول ۱ خلاصه نتایج آزمایشگاهی ارائه شد.

در این پژوهش آستانه همواره در انتهای پرش قرار داشته و بلوک‌های میانی مشابه آستانه داخل محدوده مؤثر پرش عمل می‌کنند. با تغییر زاویه قرارگیری بلوک‌ها شرایط پرش در دو وضعیت واگرا و همگرا متفاوت بود. در وضعیت همگرا با افزایش زاویه استقرار بلوک‌ها تا ۳۰ درجه، طول پرش به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و با افزایش بیش‌تر زاویه بلوک‌ها، جبهه پرش از دیواره‌های قائم کانال جدا شده و به سمت خط مرکزی کانال منحرف شده و نهایتاً طول پرش افزایش می‌یابد. همچنین در وضعیت واگرا برای همه زوایای استقرار بلوک‌ها افزایش طول پرش مشاهده گردید.

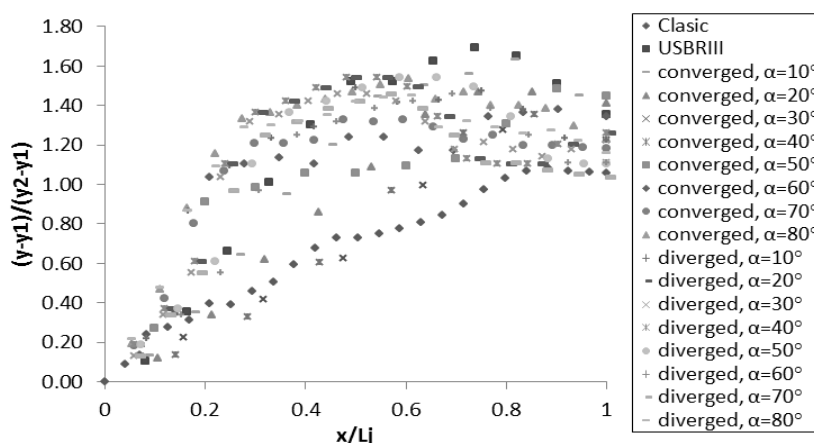
جدول ۱- محدوده پارامترهای اندازه‌گیری شده در آزمایش‌ها.

Table 1. Range of parameters measured in experiments.

حداکثر	حداقل	واحد	پارامتر
Maximum	Minimum	Unit	Parameter
23.58	20.09	mm	y_1 عمق اولیه
210.57	88.81	mm	y_2 عمق ثانویه
8.56	4.44	Dimensionless	Fr_1 عدد فرود جریان ورودی
119	29	cm	L_j طول پرش
81.5	39	Lit/s	Q دبی جریان
80	10	Degree	α زاویه استقرار بلوک‌ها نسبت به محور کانال

شده‌اند که در آن‌ها $(y - y_1)/(y_2 - y_1)$ در برابر x/L_j رسم شده است. y عمق جریان و x فاصله از ابتدای پرش است. با توجه به این شکل معادله سهمی به خوبی با پروفیل سطح آب تطابق دارد.

۱) پروفیل سطح آب: با عکسبرداری به صورت مستقیم از نیمرخ طولی پرش آبی و رقومی کردن عکس‌ها با استفاده از نرم‌افزار گرافر، اطلاعات مربوط به پروفیل سطح آب در پرش ثبت شد. پروفیل‌های بی‌بعد سطح آب در شکل ۵ برای $Fr_1=8/5$ نشان داده

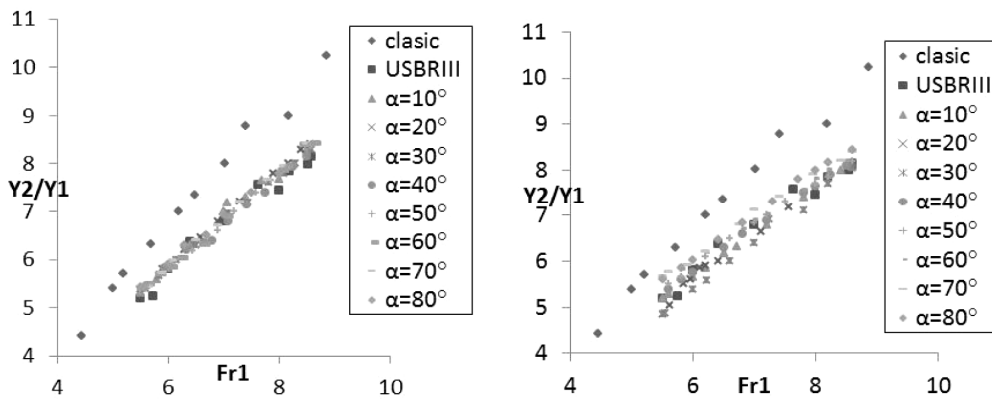


شکل ۵- پروفیل بی‌بعد تراز سطح آب در طول پرش.

Figure 5. Dimensionless water-surface profiles along jump length.
(Classic: کلاسیک، USBR III: USBR، همگرا: Diverged، واگرا: Converged)

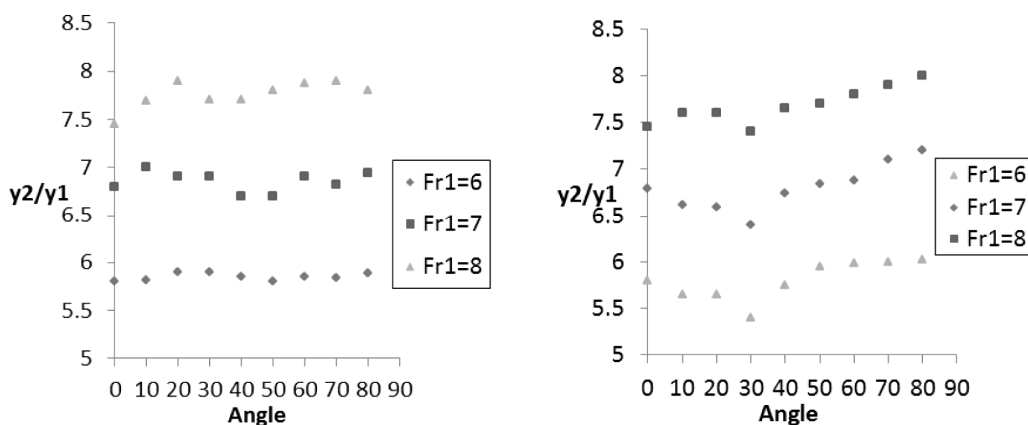
در شکل ۷ الف و ب تغییرات نسبت عمق ثانویه برای سه فرود ثابت ۶، ۷ و ۸/۵ نسبت به زوایای مختلف قرارگیری بلوک‌ها رسم گردید. همان‌گونه که در شکل ۸ نشان داده شده است، در حوضچه با بلوک‌های همگرا در زاویه ۳۰ درجه و عدد فرود اولیه ۶، بیش‌ترین کاهش نسبت عمق ثانویه در حدود ۱۲ درصد مشاهده گردید و با افزایش عدد فرود اولیه به ۷ و ۸/۵ میزان این کاهش کم‌تر گردید. در شکل ۷ ب ملاحظه می‌گردد که در حوضچه با بلوک‌های واگرا، با تغییر زاویه بلوک‌ها تأثیر چندانی بر نسبت عمق ثانویه ملاحظه نگردید.

۲) نسبت اعماق مزدوج: تغییرات y_2/y_1 در برابر Fr_1 برای تمام آزمایش‌ها در شکل ۶ الف و ب نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها، نسبت اعماق مزدوج پرش هیدرولیکی با افزایش زاویه استقرار بلوک‌ها تا ۳۰ درجه در وضعیت همگرا به میزان حداکثر ۱۲ درصد کاهش می‌یابد و این کاهش با افزایش عدد فرود جریان شدت کم‌تری دارد. با افزایش زاویه همگرایی بلوک‌ها بیش‌تر از ۳۰ درجه و همچنین در وضعیت واگرا در تمام زوایا تغییر قابل‌ملاحظه‌ای در y_2/y_1 مشاهده نگردید. برای نمایش بهتر این نتایج،



شکل ۶- تغییرات نسبت عمق ثانویه به‌ازای عدد فرود اولیه الف) در بلوک‌های همگرا و ب) در بلوک‌های واگرا.

Figure 6. Sequent depth ratio versus Froude number a) in converge position and b) in diverge position. (classic: کلاسیک، تیپ سه USBR III: USBR)

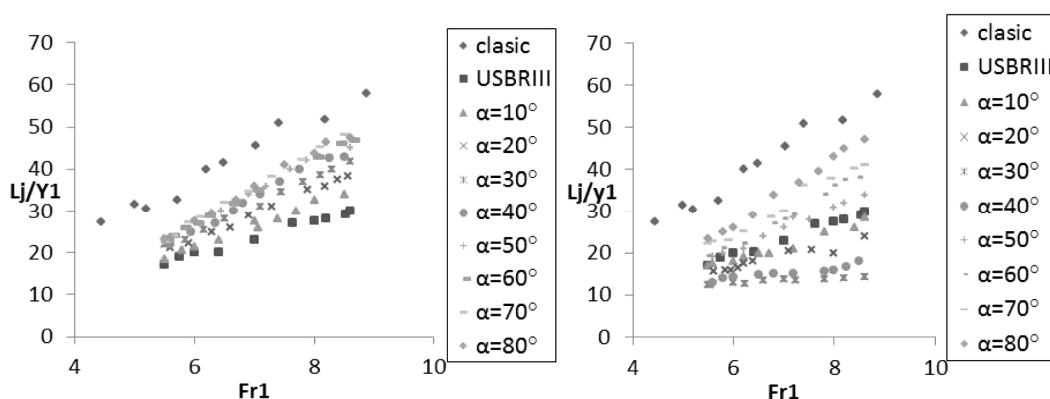


شکل ۷- تغییرات عمق ثانویه به عمق اولیه پرش در مقابل زاویه استقرار بلوک‌ها در فرود اولیه: ۶، ۷، ۸/۵ الف) در حالت همگرا و ب) در حالت واگرا.

Figure 7. Sequent depth ratio versus placement angle of blocks in $Fr_1=6, 7, 8.5$ a) in converge position and b) in diverge position.

و در زاویه ۵۰ درجه در وضعیت واگرا طول پرش از حوضچه تپ سه نیز بیش تر می گردد. علت اصلی کاهش طول پرش به علت تشدید جریان های ثانویه ناشی از تمایل بلوک ها در زاویه ۳۰ درجه است. ولی جهت ارزیابی دقیق آن نیاز به اندازه گیری میدان سرعت و تحلیل هیدرودینامیکی است. در حالت واگرا در تمامی زوایا طول پرش افزایش می یابد.

۳) تغییرات طول پرش: شکل ۸ الف و ب تغییرات طول نسبی پرش L_j/y_1 در برابر Fr_1 را نشان می دهد. با افزایش زاویه استقرار بلوک ها تا ۳۰ درجه در وضعیت همگرا، طول پرش کاهش بین ۳۰ تا ۵۰ درصد دارد و این کاهش با افزایش عدد فرود جریان ورودی شدت بیش تری دارد. با افزایش زاویه همگرایی بلوک ها بیش تر از ۳۰ درجه، طول پرش افزایش می یابد



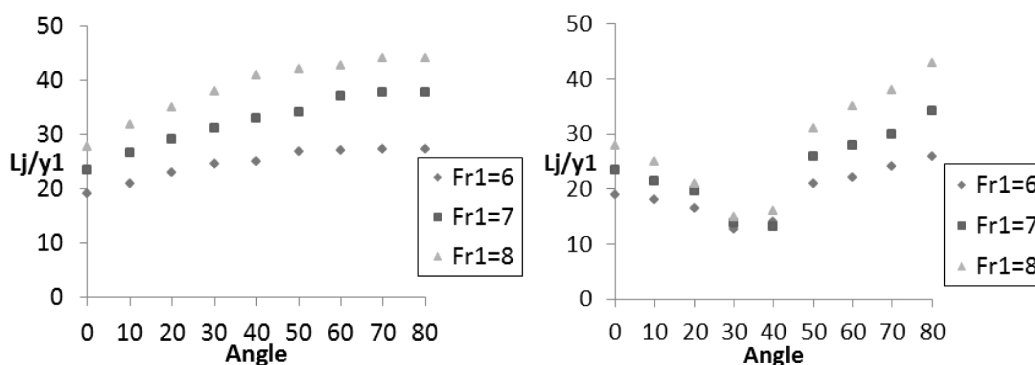
شکل ۸- تغییرات طول نسبی پرش به ازای عدد فرود اولیه الف) در بلوک های همگرا و ب) در بلوک های واگرا.

Figure 8. Relative jump length versus Fruede number a) in converge position and b) in diverge position. (classic: کلاسیک, USBR III: USBR تپ سه)

افزایش زاویه همگرایی بلوک ها بیش تر از ۳۰ درجه تغییر محسوسی در افت انرژی مشاهده نگردید. همچنین در وضعیت واگرا برای تمامی زوایا، تغییر محسوسی در افت انرژی مشاهده نگردید. حداکثر افت انرژی در زاویه همگرایی ۳۰ درجه و در حدود ۷۸ درصد می باشد که نسبت به حوضچه تپ سه ۵ درصد افزایش یافته است. در توجیه این تغییرات می توان گفت که با توجه به این که با افزایش زاویه همگرایی بلوک های تا ۳۰ درجه نسبت عمق ثانویه کاهش می یابد و توجه به این موضوع که در جریان زیربحرانی سهم عمق جریان در انرژی نسبت به هد سرعت بسیار بیش تر است، با کاهش عمق ثانویه اختلاف انرژی در مقاطع اولیه و ثانویه پرش افزایش یافته و به تبع آن افت انرژی افزایش می یابد.

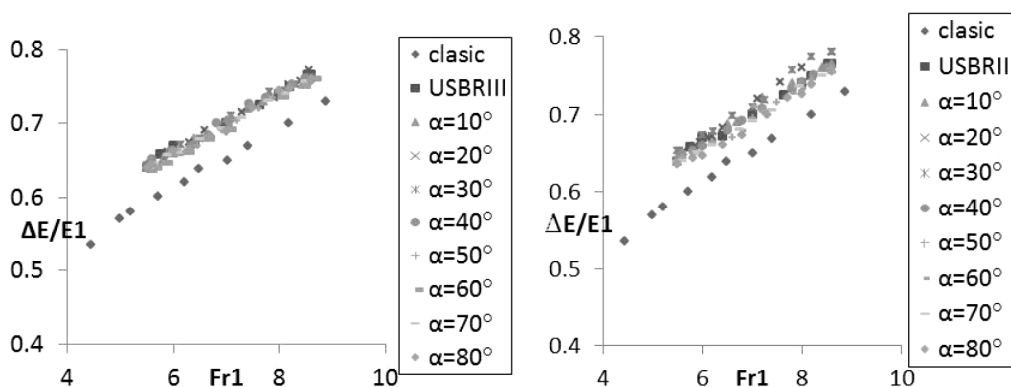
در شکل ۹ الف و ب تغییرات طول پرش برای سه فرود ثابت ۶، ۷ و ۸/۵ نسبت به زوایای مختلف قرارگیری بلوک ها رسم شده است. همان گونه که در شکل ۹ الف نشان داده شده است، در حوضچه با بلوک های همگرا در زاویه ۳۰ درجه و عدد فرود اولیه ۸/۵ بیش ترین کاهش طول پرش در حدود ۵۰ درصد مشاهده گردید و با کاهش عدد فرود اولیه به ۷ و ۶ میزان این افزایش کم تر گردید. در شکل ۹ ب ملاحظه می گردد که در حوضچه با بلوک های واگرا، با تغییر زاویه بلوک ها تأثیر چندانی بر طول پرش ملاحظه نگردید.

۴) افت انرژی نسبی: افت انرژی نسبی همه آزمایش ها در شکل ۱۰ الف و ب در مقابل Fr_1 رسم شده است. از این شکل ها مشخص است که مقادیر افت انرژی نسبی با افزایش زاویه استقرار بلوک ها تا ۳۰ درجه در وضعیت همگرا افزایش داشته است. با



شکل ۹- تغییرات تغییرات طول نسبی پرش نسبت به زاویه استقرار بلوک‌ها در فرود اولیه: ۶، ۷، ۸/۵ (الف) در حالت همگرا و (ب) در حالت واگرا.

Figure 9. Relative jump length versus placement angle of blocks in $Fr_1=6, 7, 8.5$ a) in converge position and b) in diverge position.



شکل ۱۰- افت انرژی نسبی به‌ازای عدد فرود اولیه (الف) در بلوک‌های همگرا و (ب) در بلوک‌های واگرا.

Figure 10. Relative energy loss as a function of Froude number in a) converge blocks and b) diverge blocks. (classic: کلاسیک، USBR III: USBR تپ سه)

زاویه استقرار ۳۰ درجه در بازه عدد فرود ۵/۵ تا ۸/۵ کاهش یافته که این میزان کاهش به‌طور متوسط برابر ۸ درصد بوده و در بیش‌ترین مقدار خود در محدوده عدد فرود ۶ تقریباً برابر ۱۲ درصد بوده است. با افزایش زاویه همگرایی بلوک‌ها به‌میزان بیش‌تر از ۳۰ درجه و همچنین در وضعیت واگرا در تمامی زوایا، تأثیر بر روی مشخصات هیدرولیکی پرش بسیار ناچیز بوده و طول پرش نیز افزایش می‌یابد. میزان افت انرژی نسبی پرش هیدرولیکی در بلوک‌های همگرا در زاویه ۳۰ درجه ۷۸ درصد است که بیش‌تر از حوضچه

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر تغییر زاویه بلوک‌های حوضچه آرامش تپ USBR III بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته و نتایج زیر حاصل شده است:
تغییر زاویه بلوک‌ها در وضعیت همگرا تا زاویه ۳۰ درجه موجب کاهش طول نسبی پرش می‌شود. طول نسبی پرش حداکثر تا ۵۰ درصد کاهش دارد که این کاهش با افزایش Fr_1 بیش‌تر می‌شود. نسبت عمق ثانویه به اولیه در حوضچه با بلوک‌های همگرا تا

با توجه به اثر تغییر زاویه بلوک‌ها در این پژوهش می‌توان با به‌کارگیری این ایده در حوضچه‌های واگرا تأثیر آن در بهبود وضعیت پرش را بررسی نمود.

تیپ سه است. درصد نرخ تغییرات اتلاف انرژی با بیش‌تر شدن زاویه همگرایی بلوک‌ها تا ۳۰ درجه، با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد به طوری که در عدد فرود ۵/۵ در حدود ۲ درصد و در عدد فرود ۸/۵ در حدود ۵ درصد بیش‌تر از حوضچه تیپ سه است.

منابع

1. Beirami, M.K., and Ilaghi Hoseini, M. 2005. Forced Hydraulic Jump by One and Two Continuous Sills in a Horizontal Stilling Basin. J. Adv. Mater. Engin. (Esteghlal). 24: 1. 97-119. (In Persian)
2. Ead, S.A., and Rajaratnam, N. 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. J. Hydr. Eng. ASCE. 128: 7. 656-663.
3. Eloubaidy, A.F., Al-Baidhani, J.H., and Ghazali, A.H. 1999. Dissipation of Hydraulic Energy by Curved Baffle Blocks J. Sci. Technol. 7: 1. 69-77.
4. 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.
5. Izadjoo, F., Shafai-Bejestan, M., and Bina, M. 2005. Hydraulic jump properties over a corrugated trapezoidal shape bed. J. Shahid Chamran University of Ahvaz. 27: 107-122. (In Persian)
6. Mohamad Ali, H.S. 1991. Effect of roughened-bed stilling basin on length of rectangular hydraulic jump. J. Hydr. Eng. ASCE. 117: 83-93.
7. Nasr Esfahani, M.J., and Shafai-Bajestan, M. 2012. Effect of Roughness Height on the Length of B-jump at an Abrupt Drop Inter. Res. J. Appl. Sci. 3: 5. 2757-2762.
8. Peterka, A.J. 1983. Hydraulic design of stilling basin and energy dissipators. Eng. Monograph No. 25, U.S. Bureau of Reclamation, 225p.
9. Shafai-Bajestan, M., and Neisi, K. 2009. A New Roughened Bed Hydraulic Jump Stilling Basin. J. Appl. Sci. 2: 436-445.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(4), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Experimental investigation of the effects of block inclinations on the hydraulic jump characteristics in the stilling basin (USBR III)

***Z. Eshkou¹, A. Ahmadi² and A.A. Dehghani³**

¹Ph.D. Student, Dept. of Civil Engineering, Shahrood University, ²Associate Prof., Dept. of Civil Engineering, Shahrood University, ³Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 03/05/2015; Accepted: 08/25/2015

Abstract

Background and Objectives: Hydraulic jump is one of the common methods for dissipation of the kinetic energy of the flow in downstream of the hydraulic structures in stilling basins. Length of the stilling basin, depth ratio and the energy loss are some of the important parameters that should be taken into account for designing an economically efficient structure. Historically, Bidone was the pioneer to conduct investigations on the hydraulic jump in 1818. There after characteristics of this phenomenon have been investigated by many researches using cubic, rhombus and trapezoidal baffle blocks with and without curved upstream edges, sinusoidal bed, trapezoidal corrugation, sills and rectangular corrugations. Despite of the comprehensive researches performed during the last two centuries, there are still unknown issues that warrant more research on this subject. The purpose of this research is investigation of the effects of block inclinations on the hydraulic jump characteristics in the stilling basin USBR III.

Materials and Methods: Experiments were conducted in a flume with glass walls and smooth bed with a rectangular cross section 1m wide, 85 cm deep and 15m long. The model consisted of a head tank, a slice gate with constant opening of 3 cm and a tail gate to obtain various flow depth and a flowmeter to measure the discharge. Part of beginning of flume immediately after the gate of the head tank, was used as stilling basin and baffle blocks and end sill were installed according to the criterion of a type III USBR stilling basin. In this study, baffle blocks were installed in two cases of diverge and converge position relative to the central axis of the flume and in each position 8 placement angle of 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 and 80 degrees were considered for blocks. For each flow discharge, the tailgate was adjusted to establish a non-submerged hydraulic jump so that toe of the jump was formed at the beginning of the flume under upstream gate, then the length of jump, initial and secondary flow depth were measured and burst photos were taken from profile of the jump. Froude numbers and discharges ranged from 4.44 to 8.56 and 39 to 81.7 l/s respectively. In total, 180 tests were carried out for classic, USBR III and diverge and converge position jumps.

Results: In diverge position, increase in the placement angle of blocks up to 30° on convergent position caused significant decrease in jump length and further increase in placement angle resulted in separation of jump front from walls of flume and inclination to the central axis of flume and in turn increase of jump length. Also in diverge position, for all placement angles of blocks increase in jump lengths were observed.

Conclusion: The results showed that, increase in the placement angle of blocks up to 30° on convergent position caused 40 percent decrease in jump length and 10 percent decrease in depth ratio and also increase in relative energy loss to 75 percent. It is believed that the main reason of decreasing the jump length was raising the rate of secondary flows due to inclination of blocks in angle of 30 degrees.

Keywords: Hydraulic jump, Stilling basin USBR III, Baffle blocks, Placement angle

* Corresponding Author; Email: z.eshkou@gmail.com