علوم و مهندسی آبیاری جلد ٤١، شماره‌ی۲، تابستان ۹۷، ص. ۳۱-۱۹

اثر شکل زبری‌های مصنوعی کف برخصوصیات پرش هیدرولیکی

سعید سلامی اصل[۱]، احمد فتحی[۲*] و مهدی قمشی[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز a fathiahmad2000@yahoo.com

۳- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۷/۱۱

چکیده

به‌منظور کنترل پرش هیدرولیکی نیاز به ساخت حوضچه آرامش می‌باشد تا تمام یا قسمتی از پرش در آن رخ دهد. وجود زبری درکف حوضچه می‌تواند در کاهش مشخصات پرش مؤثر باشد. درتحقیق حاضر اثر اجزای زبر با شکل‌های مختلف مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی در حوضچه آرامش مستطیلی به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. آزمایش‌ها در فلومی به طول ۱۵، عرض۰/۳ و ارتفاع۰/۵ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در این تحقیق اجزای زبر بر روی یک صفحه در کف فلوم در پایین دست تند آب به نحوی قرار داده شدند که سطح فوقانی آن‌ها در زیر جت ورودی آب قرار گرفت. نتایج نشان داد که مشخصات پرش از جمله طول پرش و عمق مزدوج به دلیل وجود اجزای زبر کاهش می‌یابد. میزان کاهش این پارامترها به طور متوسط به‌ترتیب ۳٦ و ۲۳ درصد می‌باشد و بستگی به عدد فرود و شکل اجزای زبر دارد. بیشترین کاهش مشخصات پرش مربوط به وجود اجزای زبر ترکیبی است.

کلید واژه‌ها: زبری، پرش هیدرولیکی، عمق مزدوج، طول پرش.

مقدمه

پرش هیدرولیکی مهم‌ترین نوع جریان‌های متغیر سریع است که در شرایط تغییر رژیم جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی با افزایش ناگهانی سطح آزاد آب درمسیر نسبتاً کوتاهی اتفاق می‌افتد و معمولاً استهلاک انرژی جنبشی زیادی به‌همراه دارد. پدیده‌ی پرش هیدرولیکی هنگام عبور آب از زیر یک دریچه، پای سرریز، تغییر ناگهانی شیب آبراهه از شیب تند به شیب ملایم رخ می‌دهد. هنگامی که جریان آب با سرعت بالا به سمت ناحیه‌ای با سرعت کمتر می‌رود در سطح سیال افزایش ارتفاعی ناگهانی و سریع اتفاق می‌افتد. جریان پر سرعت سیال ناگهان رو به کندی می‌گذارد که همراه با تلاطم و افت انرژی جنبشی زیاد و آشفتگی زیاد سطح آب می‌باشد. در اثر وقوع این پدیده مقداری از انرژی جنبشی جریان به انرژی پتانسیل تبدیل می‌شود و در این بین مقدار زیادی از انرژی نیز به جهت آشفتگی جریان به‌طور برگشت ناپذیری از طریق حرارت تلف می‌شود. به همین دلیل پرش هیدرولیکی یک پدیده‌ی کاهنده‌ی انرژی است که انرژی جنبشی آب را می‌تواند کاهش و از فرسایش پایین دست جلوگیری نماید (Ghavamifar, 2015). به منظور ایجاد پرش هیدرولیکی از حوضچه‌های آرامش استفاده شده که به چهار نوع حوضچه توسط سازمان احیاء اراضی آمریکا و یک نوع توسط دانشگاه ایوا موسوم به حوضچه SAF می‌توان اشاره کرد. ابعاد حوضچه‌های آرامش مستقیماً به مشخصات پرش نظیر طول پرش و عمق پایاب مورد نیاز بستگی دارد. از این رو تلاش محققین بر این بوده است تا با ایجاد تمهیداتی در محل وقوع پرش هیدرولیکی بتوانند مشخصات پرش را کاهش دهند تا صرفه جویی اقتصادی به همراه داشته باشد. از جمله می‌توان به حوضچه‌های نوع دو، نوع سه و چهار و نیز حوضچه SAF اشاره کرد که در آن‌ها از بلوک‌های ابتدایی و یا میانی استفاده شده است. وجود مانع در مقابل جریان آب باعث جداشدگی جت ورودی و استهلاک انرژی بیشتر و در نتیجه افزایش تنش برشی و نیز افزایش نیروی درگ می‌گردد. در نتیجه طول پرش و عمق مزدوج کاهش می‌یابد. این موانع چون به صورت مستقیم در مقابل جت ورودی قرار دارند باید از نظر سازه‌ای مقاوم باشند. اگر سرعت جریان ورودی بیش از ۱۷ متر بر ثانیه باشد، باعث پدیده‌ی کاویتاسیون خواهد شد (Peterka,1968). عامل دیگری که می‌تواند باعث کاهش ابعاد پرش هیدرولیکی گردد، زبری‌های کف می‌باشد. Rajaratnam (1968) اولین مطالعات سیستماتیک را در خصوص پرش بر روی بستر زبر انجام داد. زبری‌ها به گونه‌ای در کف کانال قرار گرفتند که هیچ گونه مقاومتی در برابر جت ورودی ایجاد نمی‌کردند و بالای زبری‌ها در تماس با

لبه زیرین جت ورودی قرار گرفت، بنابراین مزیتی نسبت به بلوک‌های حوضچه دارند و آن این است که کاویتاسیون در آن‌ها رخ نمی‌دهد.

Rajaratnam (1968) پارامتر زبری را به صورت ($K=K_S/Y_1$) معرفی نمود که در آن K_S ارتفاع معادل زبری وY_1عمق جریان ورودی در بالای زبری‌هاست. وی نشان داد که تحت اثر زبری‌های ممتد مثلثی، طول پرش و طول غلطابی کاهش چشمگیری خواهند داشت. نتایج Rajaratnam (1968) به نقل از Hager (1992) مورد تایید قرار گرفت.

Ead و Rajaratnam (2002) با انجام مطالعه‌ای بر بستر زبر موجدار نشان دادند که طول پرش بر بستر زبر تقریباً سه برابر عمق متناوب پرش است($Lj/Y_2 = ۳$) این نشان می‌دهد که بستر موجدار طول پرش را نسبت به طول حوضچه USBR-I نصف کرده است. Izadjoo و Shafai Bajestan (2007) نیز به بررسی اثر پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موجی شکل ذوزنقه‌ای پرداختند. نتایج آنها حاکی است که تنش برشی بر روی این نوع بسترها ده برابر تنش برشی برروی بسترهای صاف می‌باشد. طول پرش هیدرولیکی در این بسترها تا۵۰ درصد و عمق مزدوج نیز تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد.

Allahdadi et al. (2008) با مطالعه‌ی پرش هیدرولیکی بر بستر زبر، با زبری‌های مربع و مستطیل شکل در کانال مستطیلی افقی با سه ارتفاع زبری متفاوت ۰/۸، ۱/۶ و ۳/۲ سانتی‌متر را در اعداد فرود ۴-۱۲/۵ مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که بهترین ارتفاع زبری در کاهش عمق و طول غلتاب زبری با ارتفاع ۱/۶ سانتی‌متر می‌باشد.

Kazemianzadeh وShafai Bajestan (2008) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش زبری بر مشخصات پرش هیدرولیکی در بستر زبر با زبری‌هایی با مقطع مربع و مستطیل شکل با ارتفاع یکسان ۱/۶ سانتی‌متر (انتخاب این ارتفاع زبری، نتیجه مطالعه الله دادی و شفاعی بجستان می‌باشد) پرداختند. آنها با در نظر گرفتن پنج تیپ آرایش متفاوت (۷-۷، ۴-۳-۴، ۷-۶-۷، ۷-۶-۶-۷ و ۵-۴-۴-۵) نشان دادند که تیپ سوم آرایش (آرایش زیگزاگ ۷-۶-۷) بهترین و مؤثرترین تیپ در کاهش عمق ثانویه و طول غلتاب است.

Shafai Bajestan و Neisi (2009) اجزای زبر منشوری با مقاطع مختلف مستطیلی، مثلثی، دایره‌ای، لوزی و شش ضلعی را بررسی کردند. در این تحقیق، عدد فرود جریان ورودی در محدوده‌ی ۴/۵ تا ۱۲/۵ بود. نتایج این تحقیق نشان داد که عمق مزدوج به دلیل وجود اجزای زبر کاهش می‌یابد. میزان این کاهش بستگی به عدد فرود و شکل اجزای زبر دارد و به طور متوسط برای هر ۵ شکل مذکور ۲۳/۲۸ درصد می‌باشد.

Parsamehr et al. (2012) خصوصیات پرش هیدرولیکی را بر روی بستری با زبری‌های نیم استوانه‌ای شکل مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها در مقایسه با پرش بر روی بستر صاف نشان داد که عمق مزدوج نسبی به طور متوسط ۲۵/۳۵ کاهش و روند این تغییرات با افزایش فاصله، ارتفاع زبری‌ها و عدد فرود شدت می‌یابد، همچنین با افزایش فاصله بین زبری‌های نیمه استوانه‌ای نشان دادند که طول پرش بی‌بعد(L_j/Y_1) حداکثر ۴۷/۶ درصد کاهش می‌یابد.

Najandali et al. (2012) در آزمایش‌های خود سه ارتفاع زبری (t) و چهار فاصله متفاوت (s) بین زبری‌ها را انتخاب کردند، چنان‌که نسبت فاصله به ارتفاع زبری‌ها در تمام آزمایش‌ها ثابت بماند ($s/t = 0,0.5,1,1.5$). نتایج نشان داد که عمق ثانویه و طول پرش در بستر زبر به‌طور متوسط به‌ترتیب به میزان ۱۲ و ۲۴ درصد کاهش می‌یابد، هم‌چنین افت انرژی افزایش می‌یابد که با افزایش عدد فرود این روند شدیدتر نیز می‌گردد و به‌طور متوسط افزایش ۱۳ درصد را نشان می‌دهد و مقادیر تنش برشی کف نیز بر روی بسترهای زبر به بیش از ۱۰ برابر بستر صاف می‌رسد.

Ghavamifar (2015) به مطالعه‌ی اثر آرایش زبری‌های AJacks برخصوصیات پرش هیدرولیکی نوع(A) پرداختند. در این تحقیق، عدد فرود جریان ورودی در محدوده‌ی ۵/۳۲۵ تا ۸/۰۹۶ بود. نتایج این تحقیق نشان داد که المان‌ها تقریباً تحت هر شش آرایش (مثلثی پیوسته، هشتی، خطی، دایره تو خالی، پروانه، مربعی) عمق مزدوج و طول پرش را نسبت به بستر صاف به طور متوسط به ترتیب ۳۶٪ و ۲۵/۷٪ کاهش می‌دهند. همچنین نشان دادند که بستر زبر می‌تواند به‌طور متوسط تنش برشی کف را حداکثر تا ۱۵/۹۳ برابر بستر صاف افزایش دهد.

بررسی مطالعات نشان می‌دهد که عمده‌ی مطالعات انجام شده متمرکز بر بررسی اثر موانع (بلوک‌های مستطیلی) بر خصوصیات پرش هیدرولیکی بوده است. مطالعات انجام شده بر روی بستر زبر شده نشان می‌دهد که استفاده از بسترهای زبر نیازمند آزمایش‌های بیشتری برای تعیین مناسب شکل زبری‌ها می‌باشد. از این رو در این تحقیق، زبری‌ها به‌صورت مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی ومثلثی و با آرایش زیگزاگ، بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی در محدوده‌ی عدد فرود۵/۱۳ الی ۹/۷۵ مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

در این قسمت با تشریح پارامترهای مختلف مؤثر و حاکم بر پرش هیدرولیکی آزاد بر بستر زبر مصنوعی غیر ممتد و استفاده از تئوری باکینگهام معادله کلی شامل پارامترهای بی بعد استخراج می‌شوند. به‌طور کلی پارامترهای مؤثر شامل سرعت اولیه جریان (سرعت در پای تندآب) (V_1)، جرم واحد حجم آب (ρ)، ضریب

لزوجت دینامیکی آب (μ)، شتاب ثقل زمین (g)، عمق اولیه پرش در پای تندآب (Y_1)، عمق ثانویه پرش در بستر صاف (Y_2)، عمق ثانویه پرش در بستر زبر (Y_{2R})، طول پرش هیدرولیکی (L_j)، ارتفاع معادل زبری‌ها (K_R)، عرض عمود بر جریان زبری‌ها (b_R) و شکل زبری‌ها (ξ) را که می‌توان مهم‌ترین پارامتر در مطالعه‌ی حاضر دانست. با استفاده از تئوری باکینگهام برای دستیابی به گروه‌های بی‌بعد خواهیم داشت:

$$f(Re_1, Fr_1, \frac{Y_2}{Y_1}, \frac{Y_{2R}}{Y_1}, \frac{L_j}{Y_1}, \frac{L_j}{Y_2}, \varepsilon, \frac{K_R}{b_R}) = 0 \qquad (۱)$$

با توجه به اینکه جریان ایجاد شده از نوع متلاطم بوده، لذا اثر نیروهای لزجت نسبت به اینرسی کم بوده و تأثیری در حرکت جریان ندارند. بنابراین از پارامتر بی‌بعد عدد رینالدز صرف نظر می‌شود. همچنین از آنجا که در هر مرحله از آزمایش‌ها، ارتفاع معادل و عرض عمود بر جریان زبری‌ها ثابت است، بنابراین از پارامتر K_R/b_R چشم‌پوشی کرده در نهایت می‌توان رابطه زیر را نوشت:

$$\frac{Y_2}{Y_1}, \frac{Y_{2R}}{Y_1}, \frac{L_j}{Y_1}, \frac{L_j}{Y_2} = f(Fr_1, \varepsilon) \qquad (۲)$$

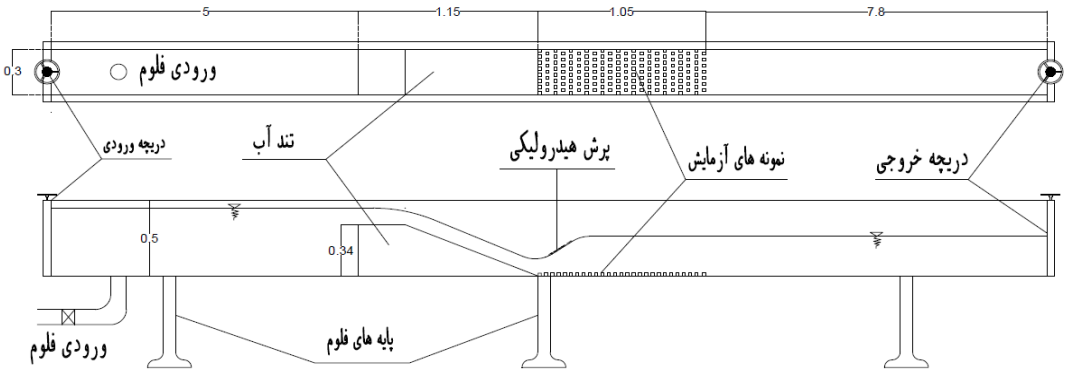
امکانات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش

برای رسیدن به اهداف این تحقیق نیاز به انجام آزمایش‌های مختلف می‌باشد. برای این منظور فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۵متر، عرض۰/۳ متر و ارتفاع ۰/۵ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهیدچمران اهواز مورد استفاده قرار گرفت. دیواره‌های شیشه‌ای کانال امکان رؤیت جریان آب را فراهم نمود. جریان آب توسط پمپ از مخزن ذخیره به مخزن آرام کننده‌ی ابتدای فلوم وارد می‌شود. به منظور تأمین بار آبی لازم برای ایجاد جریان فوق بحرانی از یک تندآب به ارتفاع ۳۴ سانتی متر و از جنس پلکسی گلاس استفاده شد. شکل (۱) پلان و نیمرخ طولی فلوم آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

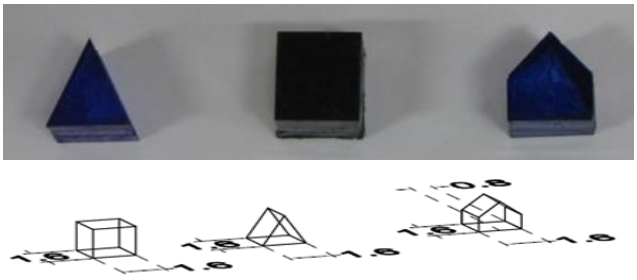
اجزای زبر مورد استفاده از جنس پلکسی گلاس با ارتفاع ۱/۶ سانتی‌متر بر اساس مطالعه Allahdadi et al. (2008) دارای مقطع عمود بر جریان به شکل‌های مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی باعرض (بعد عمود بر جریان) ۱/۶ سانتی متر بر اساس مطالعه Kazemianzadeh و Shafai Bajestan (2008) با نرم افزار اتوکد طراحی و به‌وسیله‌ی لیزر برش داده شده و در ردیف‌هایی به فواصل ۴/۸ سانتی متر مطابق شکل(۲-ب) بر اساس مطالعه Kazemianzadeh و Shafai Bajestan (2008) به طول ۱۰۵ سانتی‌متر (معادل بیشترین طول پرش تشکیل شده بر روی بستر صاف) در یک صفحه بر روی کف فلوم به وسیله‌ی چسب آکواریوم چسبانده شدند. اجزای زبر آن چنان روی صفحه در کف فلوم قرارداده شدند که تراز بالای آن‌ها معادل تراز پایین دست تندآب بود به‌طوری که لبه‌ی پایین جت ورودی هم تراز سطح بالای اجزای زبر بود.

شکل (۲-الف) اجزای زبر آزمایش شده و شکل (۲-ب) نحوه‌ی آرایش اجزای زبر و شکل (۳- الف) نمونه‌ای از پرش روی بستر صاف و شکل (۳- ب) نمونه‌ای از پرش روی بستر زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی را در آزمایشگاه نشان می‌دهد، همان طور که از شکل (۳) مشخص است مشخصات پرش (طول پرش و عمق مزدوج) روی بستر زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نسبت به بستر صاف کاهش یافته است . نحوه‌ی انجام هر آزمایش بدین صورت بود که پس از نصب اجزای زبر به نحوی که اشاره شد پمپ روشن و اجازه داده می‌شد تا جریان آب به آهستگی وارد فلوم گردد. این شرایط برای مدت زمان کافی برای برداشت داده‌ها ثابت نگه داشته می‌شد. درطول این مدت عمق اولیه ، عمق ثانویه (درسه نقطه دریک عرض فلوم (نقطه اولی و سومی به فاصله حدود پنج سانتی‌متر از کناره‌ها و نقطه دومی به فاصله حدود پانزده سانتی‌متر یعنی وسط عرض فلوم)، طول پرش اندازه گیری و ثبت می‌گردید.

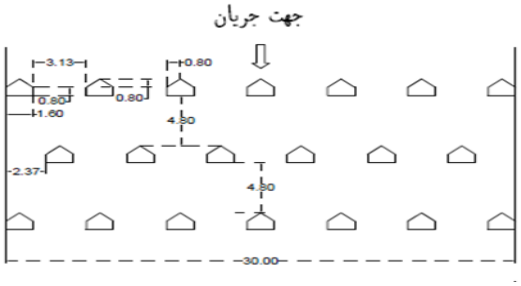
طول پرش نیز فاصله ابتدای پرش تا مکانی که حبابهای هوا دیگر مشاهده نمی‌شوند و جریان نسبتاً آرام می‌باشد. برای برداشت طول پرش از خط کش با دقت یک میلی‌متر و برای برداشت عمق اولیه و عمق ثانویه از عمق سنج (Point Gage) استفاده شده است. برای این مطالعه جمعاً ۲۰ آزمایش درمحدوده‌ی اعداد فرود۵/۱۳ الی ۹/۷۵ و دبی ۷/۸ تا ۲۰/۷۷ لیتر بر ثانیه انجام شده است.



شکل ۱- پلان و پروفیل طولی فلوم آزمایشگاهی

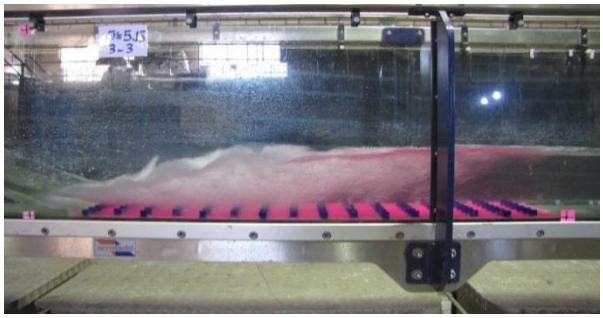


(الف)

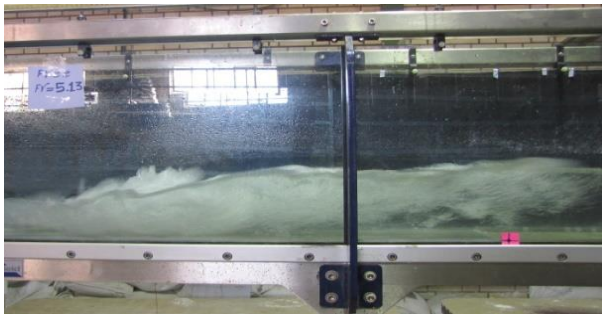


(ب)

شکل ۲- (الف) اجزای زبر آزمایش شده، (ب) نحوه‌ی آرایش اجزای زبر



(ب)



(الف)

شکل ۳- (الف) بستر صاف، (ب) بسترزبر ترکیبی از مکعبی ومثلثی

نتایج و بحث

نسبت عمق‌های مزدوج

پرش هیدرولیکی کلاسیک پرشی است که در یک کانال مستطیلی و عریض افقی با کف صاف تشکیل می‌گردد. Belanger برای عمق ثانویه‌ی پرش هیدرولیکی کلاسیک (Y_2) در ناحیه زیر بحرانی رابطه (۳) را ارایه نمود (Najandali et al., 2012):

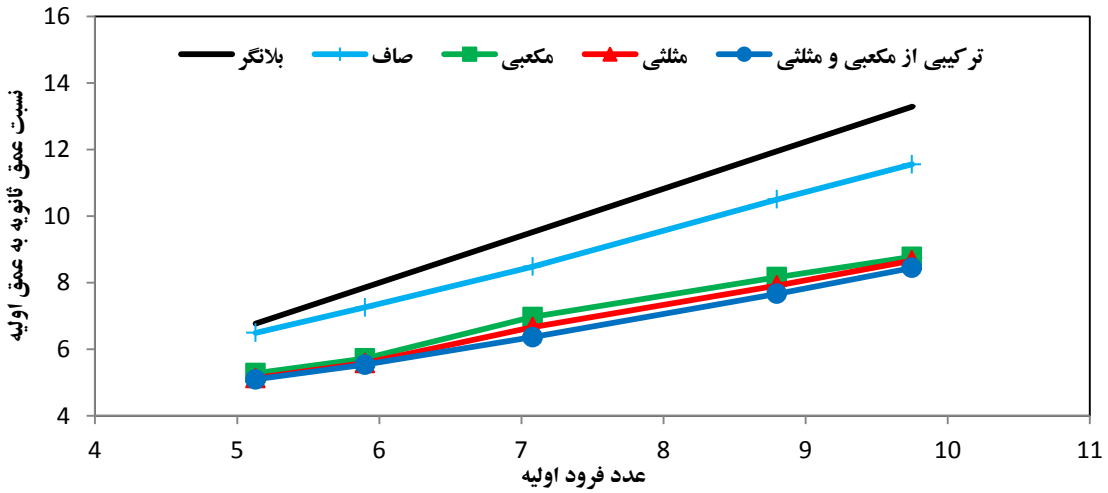
$$\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{1}{2}\left[\sqrt{1+8Fr_1^2}-1\right] \qquad (۳)$$

که در این رابطه $F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g\,Y_1}}$ عدد فرود در مقطع جریان فوق بحرانی، V_1وY_1 به‌ترتیب سرعت و عمق متوسط جریان فوق بحرانی در بالادست پرش می‌باشند. به‌منظور بررسی اثر اجزای زبر بر عمق مزدوج مقادیر نسبتY_2/Y_1 در مقابل عدد فرود ترسیم گردید. شکل (۴) این نتایج را نشان می دهد. علاوه بر این به‌منظور مقایسه‌ی نتایج این پژوهش با سایر محققین دیگر، شکل (۵) رسم شده است.

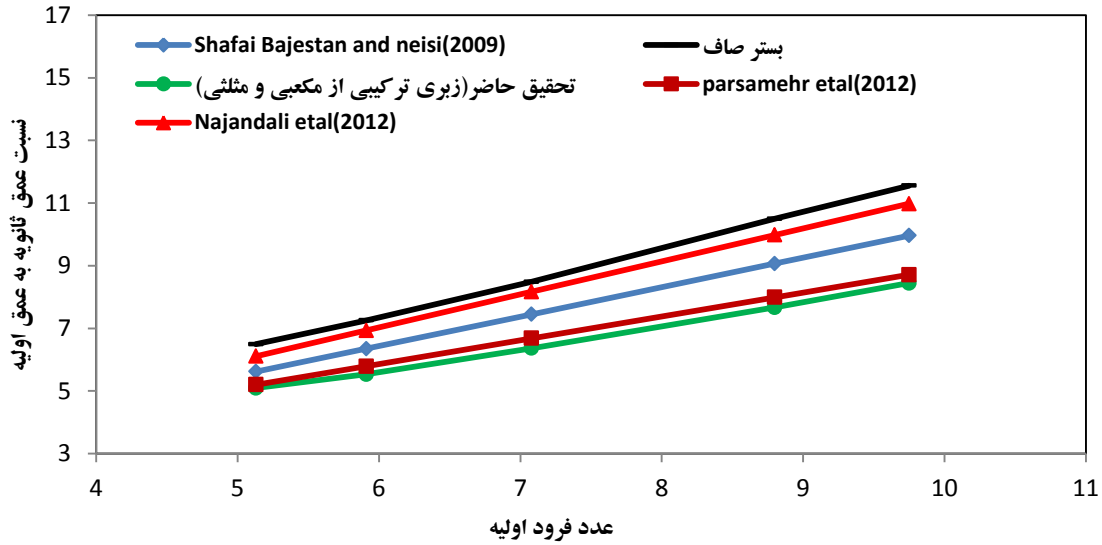
با توجه به شکل (۴) رابطه‌ی بین نسبت عمق مزدوج و عدد فرود با میزان همبستگیR^2 =0.99 به‌صورت زیر برای خط برازش داده شده از نقاط زبری ترکیبی از مکعبی و مثلثی شکل به دست آمده است که با استفاده از آن و با مشخص بودن شرایط جریان ورودی می‌توان عمق مزدوج را برای زبری ترکیبی از مکعبی و مثلثی به دست آورد:

$$\frac{Y_2}{Y_1} = 0.73Fr_1 + 1.26 \qquad (۴)$$

همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، کلیه منحنی‌های مربوط به اجزای زبر پایین‌تر از منحنی پرش بر روی بستر صاف قرار دارند (قابل ذکر است که منحنی بستر صاف به علت شرایط آزمایشگاهی و خطایی که در آزمایشگاه وجود دارد مقداری پایین‌تر از منحنی Belanger می‌باشد) و این به معنی این است که اجزای زبر باعث کاهش عمق مزدوج می‌شوند. همچنین در کلیه‌ی منحنی‌ها، با افزایش عدد فرود اولیه‌ی جریان، نسبت اعماق مزدوج افزایش می‌یابد و کمترین و بیشترین مقادیر برای هر یک از آن‌ها به‌ترتیب در عدد فرود ۵/۱۳ و ۹/۷۵ مشاهده می‌شود و میزان افزایش این نسبت برای زبری مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی به‌طور متوسط به ترتیب ۶/۹۸، ۶/۷۹ و۶/۶۲ می‌باشد. هم‌چنین با توجه به شکل (۵) منحنی مربوط به زبری ترکیبی از مکعبی و مثلثی شکل به مقدار قابل قبولی پایین‌تر از بستر صاف و هم‌چنین پایین‌تر از سایر محققین دیگر قرار دارد.



شکل ٤- تغییرات نسبت اعماق مزدوج(Y_2/Y_1) در برابر عدد فرود جریان (Fr_1) برای بستر صاف و بستر با اجزای زبر مختلف



شکل ۵- مقایسه نسبت اعماق مزدوج این تحقیق با تحقیقات دیگر

برای نشان دادن میزان کاهش عمق مزدوج بسترهایی با اجزای زبر نسبت به بستر صاف از ضریب بدون بعد D به شکل رابطه (۵) استفاده شده است.

$$D = \frac{Y_2^* - Y_2}{Y_2^*} \times 100 \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، Y_2^* و Y_2 به ترتیب عمق مزدوج در بستر صاف و بستر زبر می‌باشد. توضیح اینکه پارامتر D برای هرجزء زبر تابع عدد فرود می‌باشد. مقادیر متوسط D برای اجزای زبر مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی شکل به ترتیب برابر ۲۱ ، ۲۳ و ۲۵ درصد می‌باشد و به‌طور متوسط برای هر سه شکل زبری ۲۳ درصد می‌باشد که بیشترین میزان آن مربوط به وجود اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی می‌باشد، این بدین معنی است که در اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی شکل به‌طور متوسط مقدار عمق پایاب مورد نیاز برابر Y_2 ۰/۷۵ می‌باشد که با مقایسه با عمق پایاب مورد نیاز حوضچه‌های آرامش نوع۲ و نوع۳ که به ترتیب Y_2 ۰/۸۳ Y_2 ۰/۹۷ می‌باشد، peterka (1968) کمتر است.

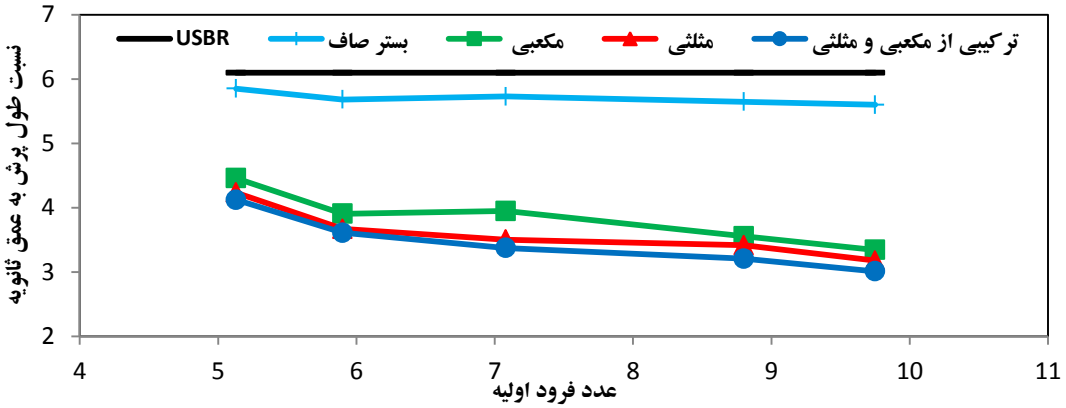
طول پرش هیدرولیکی

شکل (۶) تغییرات نسبت طول پرش هیدرولیکی به عمق جریان ثانویه (Lj/Y_2) را در برابر عدد فرود جریان فوق بحرانی ورودی (Fr_1) برای بسترهای صاف و زبر و همچنین رابطه‌ی USBR برای نسبت بی‌بعد طول پرش به عمق ثانویه که برابر (Lj/Y_2 = ۶/۱) است را نشان می‌دهد. در این حال طول پرش بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش یافته است و با افزایش عدد فرود میزان کاهش طول پرش بیشتر می‌شود (قابل ذکر است که منحنی بستر صاف به خاطر خطای اندازه‌گیری در آزمایشگاه مقداری پایین‌تر از منحنی USBR می‌باشد). مقدار متوسط طول بدون بعد پرش (Lj/Y_2) برای زبری مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی به ترتیب ۳/۸۴، ۳/۶۰ و ۳/۴۶ و به‌طور متوسط برای هر سه شکل برابر۳/۶۳ می‌باشد که برای مقایسه با مقادیر ارائه شده توسط سایر محققین جدول (۱) ارائه شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود طول پرش بر بستر زبر تقریباً به طور متوسط ۳/۶۳ برابر عمق مزدوج پرش است (L_{jR}/Y_2 = ۳/۶۳) و این نشان می‌دهد که بستر پوشیده از زبری طول پرش را نسبت به طول حوضچه USBR-I ، USBR-II ، مطالعات مربوط به Shafai Bajestan و Neisi (2009) و Ghavamifar (2015) کاهش داده است. رابطه (۶) درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی را نسبت به بستر صاف نشان می‌دهد.

$$S^* = \frac{L_j^* - L_{jR}}{L_j^*} \times 100 \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، L_j^* و L_{jR} به ترتیب طول پرش در بستر صاف و بستر زبر می‌باشد. مقادیر متوسط S^* برای اجزای زبر مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی شکل به ترتیب برابر ۳۳ ، ۳۷ و ۳۹ درصد می‌باشد و به‌طور متوسط میزان کاهش طول پرش برای هر سه شکل ۳۶ درصد می‌باشد، که بیشترین کاهش میزان طول پرش مربوط به اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی می‌باشد.



شکل ٦- تغییرات نسبت طول پرش هیدرولیکی به عمق جریان ثانویه در برابر عدد فرود جریان

جدول ۱- مقایسه مقدار متوسط طول بی‌بعد پرش در سایر مطالعات و مطالعه‌ی حاضر

تحقیق	Fr_1	L_{jR}/Y_2
USBR Type I	۴/۵-۱۴	۶
Shafai Bajestan و neisi (2009)	۴/۹۲-۱۲/۴	۵/۱۷
Ghavamifar (2015)	۵/۳۲۵-۸/۰۹۶	۴/۴۷
USBR Type II	Fr_1>10	۴/۳۵
این تحقیق	۵/۱۳-۹/۷۵	۳/۶۳
Ead و Rajaratnam (2002)	۴-۱۰	۳
USBR Type III	Fr_1>10	۲/۸

استهلاک انرژی

افت انرژی E_L و افت انرژی نسبی R_L درپرش هیدرولیکی به ترتیب به صورت رابطه ۷ و رابطه ۸ تعریف می شوند:

$$E_L = E_1 - E_2 \quad (۷)$$

$$R_L = \frac{E_1}{E_2} \quad (۸)$$

که در آن E_1 و E_2 به ترتیب انرژی مخصوص جریان در ابتدا و انتهای پرش هیدرولیکی می‌باشند.

درشکل (۷) تغییرات افت انرژی نسبی در مقابل عدد فرود اولیه (Fr_1) رسم شده است. از شکل (۷) به نظر می‌رسد مقدار افت نسبی انرژی در بسترهای زبر بزرگتر از بسترهای صاف است . به نحوی که کمترین مقدار آن در عدد فرود ۵/۱۳ و بیشترین مقدار آن در عدد فرود ۹/۷۵ می‌باشد. میزان افت نسبی انرژی به‌طور متوسط در بستر زبر مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی به ترتیب ۷۳، ۷۴ و ۷۵ درصد می‌باشد که کمترین مقدار آن مربوط به اجزای زبر مکعبی و بیشترین مقدار آن مربوط به اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی است.

برای نشان دادن میزان افزایش افت انرژی بسترهایی با اجزای زبر با افت انرژی بستر صاف از ضریب بدون بعد G به شکل رابطه (۹) استفاده شده است.

$$G = \frac{E_L - E_L^*}{E_L^*} \times 100 \quad (۹)$$

در رابطه فوق E_L^* و E_L به ترتیب افت انرژی در بستر صاف افقی و افت انرژی در پرش بر روی بستر زبر می‌باشد. با توجه به رابطه (۹) می‌توان دریافت که میزان استهلاک انرژی نسبت به بستر صاف به طور متوسط در بستر زبر مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی به ترتیب ۱۱، ۱۲ و ۱۳ درصد می‌باشد که کمترین میزان آن مربوط به اجزای زبر مکعبی و بیشترین میزان آن مربوط به اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی می‌باشد و به طور متوسط برای کلیه‌ی شکل‌ها ۱۲ درصد است.

تنش برشی

دلیل اصلی کاهش عمق ثانویه در پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر در مقایسه با بسترهای صاف وجود تنش برشی اضافه است. اگر $F\tau$ جمع نیروهای برشی بستر بر روی سطح افقی هم تراز با تاج زبری‌ها در طول پرش باشد، با استفاده از معادله مومنتم (۱۰) می‌توان بیان کرد:

$$F_\tau = (P_1 - P_2) + (M_1 - M_2) \qquad (۱۰)$$

که در آن P و M مقادیر فشار و مومنتم و اندیس‌های ۱ و ۲ به ترتیب نشانگر مقاطع قبل و بعد از پرش می‌باشند. Rajaratnam (1968) در تحقیقات خود ضریب تنش برشی بستر را به شکل رابطه (۱۱) تعریف کرد.

$$\varepsilon = \frac{F_\tau}{\gamma Y_1^2/2} \qquad (۱۱)$$

Rajaratnam (1968) علاوه بر رابطه (۱۱)، بر اساس آزمایشات خود، رابطه‌ای بین ε و Fr_1 را به صورت رابطه (۱۲) ارائه نمود.

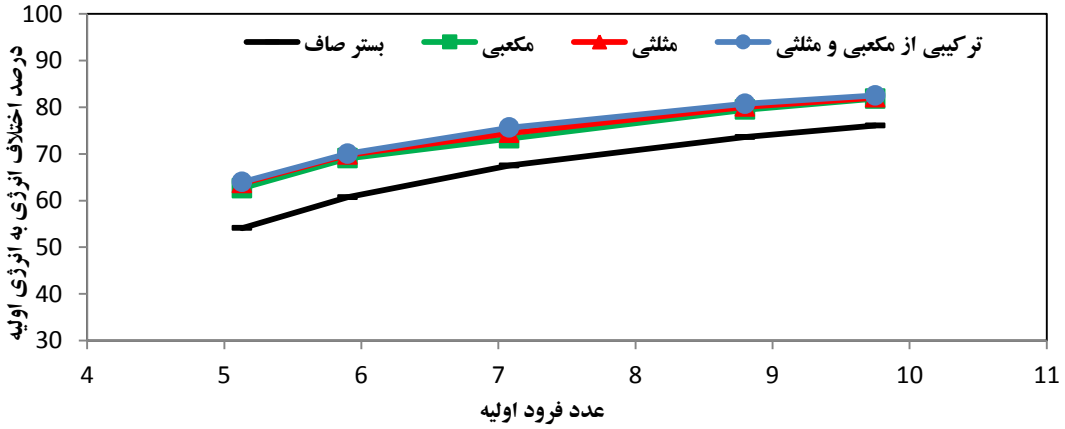
$$\varepsilon = 0.0082(Fr_1^2 - 1)^{1.535} \qquad (۱۲)$$

ε : ضریب تنش برشی مربوط به بستر (صاف یا زبر) می‌باشد. اگر رابطه (۱۱) در رابطه (۱۰) قرار گیرد می‌توان رابطه‌ای به صورت رابطه (۱۳) نوشت:

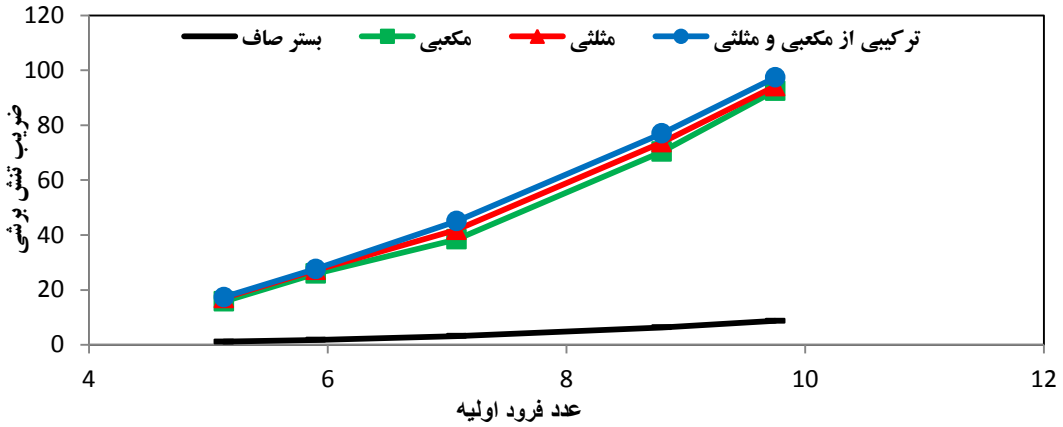
$$\left(\frac{Y_{2R}}{Y_1}\right)^3 - [1 - \varepsilon + 2Fr_1^2]\frac{Y_{2R}}{Y_1} + 2Fr_1^2 = 0 \qquad (۱۳)$$

با به کارگیری رابطه (۱۲) و (۱۳) به ترتیب برای بستر صاف و زبر و با استفاده ازداده‌های به دست آمده از آزمایش‌های انجام شده، در شکل (۸) تغییرات ضریب نیروی برشی (ε) در برابر عدد فرود اولیه (Fr_1) برای بستر صاف و بستر با اجزای زبر مختلف ترسیم شده است.

میزان افزایش ضریب تنش برشی نسبت به بستر صاف به طور متوسط برای اجزای زبر مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی و مثلثی به ترتیب ۱۲، ۱۳ و ۱۳/۵ می‌باشد، که بیشترین مقدار مربوط به اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی است و این مسئله نشان‌دهنده‌ی این است که اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی میزان ضریب تنش برشی را ۱۳/۵ برابر نسبت به بستر صاف افزایش می‌دهد.



شکل۷-تغییرات افت انرژی نسبی در مقابل عدد فرود اولیه



شکل ۸ – تغییرات ضریب تنش برشی(ε) در برابر عدد فرود اولیه (Fr_1) برای بستر صاف و بستر با اجزای زبر مختلف

نتیجه گیری

دراین تحقیق تأثیر اجزای زبر با شکل‌های مختلف مکعبی، مثلثی و ترکیبی از مکعبی ومثلثی بر خصوصیات پرش هیدرولیکی نوع (A) شامل عمق مزدوج، طول پرش، افت انرژی و میزان ضریب نیروی برشی بررسی شده است. در مجموع ۲۰ آزمایش انجام شد که مهم‌ترین نتایج حاصله به این صورت است که عمق مزدوج پرش بر روی بستر با هر سه اجزای زبر(مکعبی، مثلثی، ترکیبی از مکعبی و مثلثی) نسبت به بستر صاف کمتر می‌باشد. میزان کاهش برای هر شکل به عدد فرود بستگی دارد. بیشترین کاهش مربوط به اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی شکل با ۲۵ درصد کاهش می‌باشد طول پرش بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش می‌یابد و این کاهش با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد، بیشترین میزان این کاهش مربوط به اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی شکل برابر ۳۹ درصد می‌باشد. حداکثر افت نسبی انرژی در بستر زبر درحدود ۷۵ درصد بوده و بیشترین افزایش افت انرژی نسبت به بستر صاف نیز برابر ۱۳ است که مربوط به زبری ترکیبی از مکعبی و مثلثی می‌باشد. به‌طور متوسط بیشترین مقدار افزایش ضریب تنش برشی نسبت به بستر صاف مربوط به زبری ترکیبی از مکعبی و مثلثی برابر ۱۳/۵ می‌باشد. که این مسئله نشان‌دهنده‌ی این است که اجزای زبر ترکیبی از مکعبی و مثلثی به‌طور متوسط میزان ضریب تنش برشی را ۱۳/۵ برابر نسبت به بستر صاف افزایش می‌دهد.

سپاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان از دانشگاه شهید چمران اهواز دانشکده مهندسی علوم آب به پاس فراهم آوردن امکان این تحقیق قدردانی می نمایند.

منابع

1- Allahdadi, K., Kazemianzadeh, A. and Shafai Bajestan, M., 2008. Laboratory study of the effect of roughness height on the ratio of the depth of the conjugate and the rolling length of the jump of the hydraulic jump in the ponds of tranquility. Third conference on water resources management, October 2008, Tabriz, Iran.(In Persian).

2- Ead, S.A. and Rajaratnam, N., 2002. Hydraulic jump on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128 (7): 656-6.

3- Ghavamifar, A., 2015. Laboratory study of the effect of roughnesses arrangement(A-Jacks) on type(A) hydraulic jump characteristics. Master's thesis aqueous structures. Faculty of Water Engineering Shahid Chamran University Of Ahvaz.(In Persian).

4- Hager, W.H., 1992. Energy dissipaters and hydraulic jump. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherland.

5- Izadjoo, F. and Shafai Bajestan, M., 2007. Corrugated bed hydraulic jump stilling basin. J of Applied Sciences 7(8): 1164-1169.

6- Kazemianzadeh, A. and Shafai Bajestan, M., 2008. Laboratory review the effect of roughness arrangement on hydraulic jump characteristics in the ponds of tranquility. Third conference on water resources management, October 2008, Tabriz, Iran.(In Persian).

7- Najandali, A., Esmaeili, K., Farhoudi, J. and Raver, Z., 2012. The effect of triangular integrated roughnesses on hydraulic jump characteristics. Irrigation and Drainage Journal Of Iran,2(5):224-241. .(In Persian).

8- Parsamehr, P., Hosseinzadehdalir, A., Farsadizadeh, D. and Abbaspour, A., 2012. Hydraulic Jump on the bed with half- cylindrical roughness. Water and soil Journal, year twenty sixth, Number2, page 775.(In Persian).

9- Peterka, A.J., 1958. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters. Engineering Monograph No. 25, USBR, Denver, Colorado, USA.

10- Rajaratnam, N., 1968. Hydraulic Jump on rough bed. Transaction of the Engineering Institute of Canada, 11 (A-2): 1-8.

11- Shafai Bajestan, M. and Neisi, K., 2009. Investigation of the hydraulic jumper conjugate depth under the effect of rough bed elements. Journal of Water and Soil Science, 19(2):165-176.(In Persian).

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 41, No. 2, Summer 2018, p. 19-31**

EXTENDED ABSTRACT

Effect of the Artificial Bed Roughness's Shape on Hydraulic Jump's Characteristics

S.Salamiasl[1], A.Fathi[2*] and M.Ghomeshi[3]

1- Msc Student, Water Structures Department, Faculty of Water Sciences Engineering Shahid Chamran University of Ahvaz.

2*- Corresponding Author, Assistant Professor, Water Structures Department, faculty of Water Sciences Engineering Shahid Chamran University of Ahvaz. *(fathiahmad2000@yahoo.com)*

3- Professor, Water Structures Department, Faculty of Water Sciences Engineering Shahid Chamran University of Ahvaz.

Received:25 June 2016 Accepted:2 October 2016

Keywords: Roughness, Hydraulic jump, Conjugate depth, Jump length.

Introduction

Hydraulic jumps are the most important type of rapidly variable flow that occur in from the supercritical state to the subcritical state with the sudden increase of the water free surface in a relatively short path, and usually has a high kinetic energy dissipation. The presence of a barrier against the flow will result in the separation of the inlet jet and more energy depletion resulting in increased shear stress and increased drag force. As a result, the jump length and conjugate depth decreases. These obstacles must be structurally sound because they are directly in front of the jet. If the flow rate exceeds 17m/s, it will cause a cavitation phenomenon (peterka, 1985). Another factor that can reduce the dimensions of a hydraulic jump is the roughness of the floor. Rajaratnam(1968) conducted the first systematic studies of jumping on a rough bed. The results of Rajaratnam were confirmed by Hager(1992), and, with their study of acoarsebed, Ead and Rajaratnam(2002) showed that the jump length on the rough bed is almost three times the conjugate depth (L_j/Y_2=3). Shows that the rippling bed has halved the length of the jump to the length of the USBR-I pond. Studies on roughened bed reveal that the use of rough substrates requires more experiments to determine the proper shape of roughness. Hence, in this study, roughnesses in cubic, triangular and cubic and triangular combinations with zigzag arrangement have been investigated on the hydraulic jump specification in the rang of 5.13 to 9.75 froud numbers.

Methodology

To achieve the goals of this research, various experiments are required. For this purpose, a laboratory flome with a length of 15m, a width of 0.3m and a height of 0.5m was used in the hydraulic laboratory of the faculty of engineering sciences of shahid chamran university of ahvaz. In order to provide the necessary amount of water to create a supercritical stream, from an over flow to altitude 34 centimeter and from the plexiglass was used. The rough parts used by of the genus plexiglass with a height of 1.6 centimeter with a perpendicular cross section in cubic, triangular and combination cubic and triangular shapes with a width(perpendicular dimension) of 1.6 centimeters with Autocad software designed and cut by laser. And in rows at intervals of 4.8 cm, with a length of 105cm(equivalent to the maximum length of the jump formed on a flat bed), were placed on a plate

on the flume floor by means of an aquarium glue. The manner in which each test was performed after installing the elements rough, as indicated, the pump was switched on and the flow of water was allowed to flow slowly into the flume. These conditions were kept constant for data capture for a sufficient period of time. During this period, the initial depth, the secondary depth, jump length measured and recorded. For picking the length of the jump from the ruler with a precision of one millimeter, and for taking the initial depth and secondary depth of the depth glass(point gage) is used. For this study, a total of 20 experiments were conducted in the range of froud numbers from 5.13 to 9.75 and a discharge of 7.8 to 20.77 liters persecond.

Results and Discussion

To illustrate the reduction rate in the conjugate depth of the substrates with rough elements compared to the smooth bed, the non-dimensional coefficient D is used in the form of relation(1).

$$D = \frac{Y_2^* - Y_2}{Y_2^*} * 100 \quad (1)$$

In relation (1), Y_2^* and Y_2 are respectively the conjugate depth in a flat bed and rough bed. Explaining that the parameter D for each rough element is a Froud number function. The average values of D for cubic, triangular and combination cubic and triangular rough elements are 21, 23 and 25 percent, respectively, and the average for all three forms of roughness is 23 percent, with the highest of which is due to the existence of a rough elements of combination cubic and triangular. The relation below shows the percentage of reduction in the length of the hydraulic jump compared to the flat bed.

$$S^* = \frac{L_j^* - L_{jR}}{L_j^*} * 100 \quad (2)$$

In relation (2), L_j^* and L_{jR}, the length of jump in a flat bed and rough bed are respectively. The mean values of a for cubic, triangular and cubic and triangular elements are 33, 37 and 39 percent, respectively, and the average jump length reduction for each of the three form is 36 percent, which is the highest drop in jump length related to rough elements are cubic and triangular combinations. In order to show the amount of energy loss, substrates with coarse elements, as compared to energy loss on a flat bed, have been used from the dimensionless coefficient (G) in the form of relation(3).

$$G = \frac{E_L - E_L^*}{E_L^*} * 100 \quad (3)$$

In relation (3), E_L^* and E_L are respectively the energy losses in a horizontal flat bed and the energy loss in jumping on a rough bed. According to equation(3), it can be seen that the energy depreciation relative to the flat bed on the average in a rough bed cubic, triangular and combination of cubic and triangular respectively substrate is 11, 12 and 13 percent, most of it is related to the rough elements of a cubic and triangular composition. The increase in the shear stress coefficient versus the smooth bed is on average for cubic, triangular and combination of cubic and triangular rough elements, respectively, 12, 13 and 13.5, which is the highest value for the rough elements of a cubic and triangular combination, indicating it is that the rough elements of a cubic and triangular combination increase the shear stress coefficient by 13.5 times that of a flat bed.

Conclusions

In this research, the effect of rough elements with different shapes cubic, triangular and cubic and triangular combinations on the characteristics of hydraulic jump type(A) were investigated. A total of

20 experiments were carried out. The most important results are that the jumping depth on the substrate with all three rough (cubic, triangular and combination of cubic and triangular) elements is less than that of a flat bed. The amount of reduction for each shape depends on the Froud number. The largest decrease is related to the cube and triangular combination of rough components with a 25% reduction. Also, the jump length on the rough bed decrease with respect to the flat bed, and this decrease with increasing Froud number increases, with the largest decrease of the fractional components of the rough combination cubic and triangular shapes equal to 39%. The maximum relative energy loss in the rough bed is about 75%, and the highest energy loss is compared to the flat bed of 13, which is related to the roughness combination of the cubic and triangular. On average, the greatest increase in the shear stress factor or coefficient relative to the flat bed related to the combination cubic and triangular roughness is 13.5. This suggests that the rough components of a cubic and triangular combination increase the shear stress coefficient by 13.5 times the flat bed. Finally, it can be said that the combined roughness of cubic and triangular to cubic and triangular roughness has the best performance in reducing the characteristics of hydraulic jumps.

References

1- Ead, S.A. and Rajaratnam, N., 2002. Hydraulic jump on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128 (7): 656-6.

2- Hager, W.H., 1992. Energy dissipaters and hydraulic jump. Kluwer Academic, Dordrecht, Netherland.

3- Peterka, A.J., 1958. Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters. Engineering Monograph No. 25, USBR, Denver, Colorado, USA.

4- Rajaratnam, N., 1968. Hydraulic Jump on rough bed. Transaction of the Engineering Institute of Canada, 11 (A-2): 1-8.