

اثر فاصله زبری های مثلثی بستر بر ویژگی های پرش هیدرولیکی

عاطفه نژندعلی^{*۱} - کاظم اسماعیلی^۲ - جواد فرهودی^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۱۶

چکیده

تلفات زیاد انرژی توسط پرش هیدرولیکی موجب شده که آن بعنوان یک پدیده کاهش دهنده انرژی در سیستم های انتقال آب شناخته شود. زبری کف حوضچه عامل مهمی در کنترل، کاهش طول و عمق ثانویه و نیز افزایش افت انرژی توسط پرش هیدرولیکی می باشد. در این مطالعه اثر فاصله زبری های عرضی مثلثی بر روی مشخصات پرش آبی مورد بررسی قرار گرفته است و در مجموع تعداد ۱۲۶ آزمایش بر روی بستر زبر در فاصله های مختلف در بازه اعداد فرود ۴-۱۳/۷ انجام شد. مقایسه نتایج بدست آمده نشان داد عمق ثانویه و طول جهش آبی در بستر زبر نسبت به بستر صاف بطور متوسط بترتیب ۱۲ و ۲۴ درصد کاهش داشته اند. همچنین افت انرژی افزایش می یابد که با افزایش عدد فرود این روند شدیدتر نیز می گردد و بطور متوسط افزایش ۱۳ درصد را نشان می دهد. پروفیل های بی بعد سطح آب از یکنواختی چشم گیری برخوردار و بر هم منطبق می باشند، و می توان آن ها را به صورت یک منحنی بی بعد نمایش داد. مشاهدات بیانگر آن است که با افزایش فاصله ی بین زبری ها، طول جهش، طول غلطاب و عمق ثانویه کاهش یافته و افت انرژی افزایش می یابد. مقادیر تنش برشی کف نیز بر روی بسترهای زبر به بیش از ۱۰ برابر بستر صاف می رسد.

واژه های کلیدی: جریان متغیر سریع، جهش آبی، افت انرژی، زبری مثلثی، فاصله زبری

مقدمه

پدیده ای که در تبدیل جریان فوق بحرانی به زیر بحرانی انتظار شکل گیری آن می رود، پرش هیدرولیکی است. همزمان با این پدیده آشفتگی های زیادی به صورت گردابه های شدید و جریان غلطابی معکوس ایجاد می شود که این فرآیند باعث ایجاد افت انرژی و کاهش سرعت به میزان زیادی می گردد. حوضچه آرامش یک بستر فرش شده است که گاه حاوی ضمام اضافی نظیر بلوک های کف (موجب افزایش زبری بستر می شوند) و آستانه ها می باشد تا در شرایط واقعی عملکرد مؤثرتری در کنترل پرش و افزایش افت انرژی داشته باشد، در عین حال از نقطه نظر اقتصادی، حوضچه باید تا حد امکان کوچک باشد.

جهش آبی کلاسیک، جهشی است که در یک کانال مستطیلی و عرض افقی با کف صاف تشکیل می گردد. بلانگر برای عمق ثانویه جهش هیدرولیکی کلاسیک (y_2^*) در ناحیه زیر بحرانی فرمول ۱ را

$$\frac{y_2^*}{y_1} = \frac{1}{2} [\sqrt{1 + 8Fr_1^2} - 1] \quad (1)$$

که در این رابطه $Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}$ عدد فرود در مقطع جریان

فوق بحرانی، v_1 و y_1 به ترتیب سرعت و عمق متوسط جریان فوق بحرانی در بالادست جهش می باشند. در شکل ۱ نمایی از جهش آبی بر روی بستر صاف دیده می شود.

راجاراتنام (۸) با تحقیقات خود نشان داد زبری بستر می تواند بطور مشخصی عمق پایاب مورد نیاز برای تشکیل پرش را نسبت به عمق مزدوج مشابه خود در بستر صاف کاهش دهد. وی پارامتر زبری نسبی

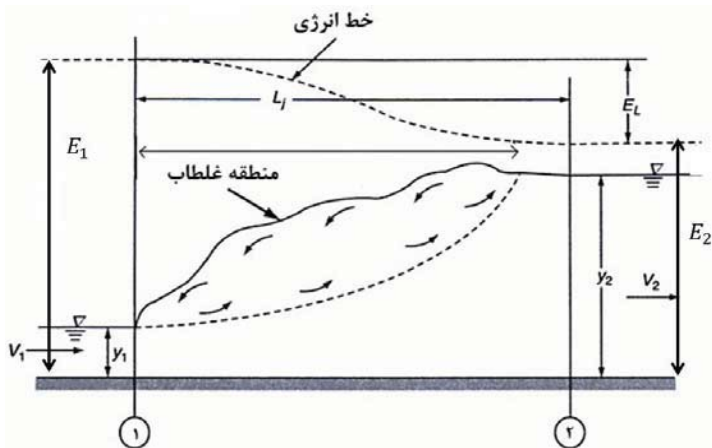
$k = \frac{k_e}{y_1}$ را تعریف کرد که در آن k_e ارتفاع معادل زبری و

y_1 عمق جریان ورودی فوق بحرانی بر روی زبری ها است. وی همچنین مشاهده کرد طول غلطاب و طول پرش روی بستر زبر نیز کاهش قابل توجهی نسبت به پارامترهای مشابه روی بستر صاف دارند. هیو و فلاک (۵) نیز با مطالعاتی که بر روی بسترهای زبر انجام دادند، کاهش عمق ثانویه و طول جهش را تأیید کردند.

۱-۲ دانشجوی کارشناسی ارشد و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(*) نویسنده مسئول: (Email: Najand_a@yahoo.com)

۳- استاد دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران



شکل ۱- جهش آبی بر روی بستر صاف

کرد. گوهری و فرهودی (۴) آزمایش‌های خود را بر روی بسترهایی با زبری‌های نواری مستطیلی در محدوده اعداد فرود ۳ تا ۱۰ انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند عمق ثانویه جهش بر روی سطوح زبر نسبت به سطح صاف کاهش دارد و این کاهش با افزایش فاصله بین زبری‌ها، افزایش می‌یابد. همچنین پی بردند که تغییر ارتفاع زبری‌ها و عمق اولیه پرش اثر ناچیزی بر مشخصات هیدرولیکی دارد و مقادیر تنش برشی کف در بستر زبر حدوداً ۹ برابر بستر صاف بدست آمد. عباسپور و حسین زاده (۱) با آزمایش‌هایی در محدوده اعداد فرود ۳/۸ تا ۸/۶ مشخصات پرش آبی را در بستر موج‌دار بررسی کردند. نتایج نشان داد که مقادیر عمق ثانویه و طول جهش آبی روی بستر موج‌دار به ترتیب ۲۰ و ۵۰ درصد کمتر از بستر صاف است. ضریب نیروی برشی در بستر موج‌دار به ازای عدد فرود ۴ در حدود ۱۰ برابر بستر صاف است.

مطالعات انجام شده بر روی بستر زبر نشان می‌دهد که استفاده از بسترهای زبر نیازمند آزمایش‌های بیشتری، برای تعیین مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین شکل زبری‌ها و ابعاد و فاصله آن‌ها می‌باشد. از اینرو در این تحقیق زبری‌ها، بصورت بلوک‌های یکپارچه مثلثی، انتخاب گردیده و اثر فاصله زبری‌ها بر روی مشخصات جهش آبی در محدوده گسترده‌ای از اعداد فرود مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج آن در مقاله حاضر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مورد نظر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، در یک کانال به طول ۱۲ متر، ارتفاع ۵۰ سانتی متر و عرض ۲۵ سانتی‌متر انجام گرفت. دیواره‌های شیشه‌ای کانال امکان رویت جریان را فراهم نمود. برای ایجاد اعداد فرود مختلف، ارتفاع دیواره کانال در بالادست درپچه توسط پلکسی گلاس

اید و راجار اتنام (۳) یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی پرش آبی روی بستر موج‌دار در بازه اعداد فرود ۴ تا ۱۰ انجام دادند. آن‌ها مشاهده کردند که عمق پایاب مورد نیاز برای پرش آبی روی بستر زبر کمتر از عمق مشابه آن در پرش بر روی بستر صاف است. آن‌ها با تعریف پارامتر بی بعد کاهش عمق نسبی $(D = \frac{y_2^* - y_2}{y_2^*})$ در بازه مورد بررسی، D را تقریباً برابر با ۰/۲۵ بدست آوردند. همچنین آن‌ها نتیجه گرفتند که طول پرش در بستر زبر تقریباً نصف طول متناظر آن در بستر صاف است و دلیل کاهش طول جهش را افزایش تنش برشی بستر بر اثر برهم‌کنش جریان فوق بحرانی با زبری‌های بستر توضیح دادند.

ایزدجو و شفاعی بجزستان (۶) با مطالعات خود بر روی بسترهای دوزنقه‌ای نواری شکل نشان دادند که عمق مورد نیاز پایاب برای تشکیل جهش بر روی بسترهای زبر کمتر از (y_2^*) می‌باشد و مقدار را ۰/۲ برای پارامتر D بدست آوردند. دیگر نتایج این تحقیق نشان داد طول جهش کلاسیک بیش از دو برابر طول جهش در بستر زبر می‌باشد، و بیشتر به فاصله تاج زبری‌ها بستگی دارد تا ارتفاع زبری‌ها. اید (۲) آزمایش‌های خود را به منظور بررسی اثر شکل زبری - ها بر روی سه بستر موج‌دار سینوسی، دوزنقه‌ای و منشوری انجام داد. او نتیجه گرفت زبری نسبی و شکل موج‌ها، تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی عمق مزدوج نسبی ندارند. با توجه به اینکه تراز تاج موج‌ها هم سطح کف کانال در بالادست می‌باشد، فواصل زبری‌ها به صورت گودافتادگی عمل می‌نمایند و تغییر ارتفاع آن‌ها اثر چندانی بر روی مشخصات جهش ندارد. وی میزان پارامتر D را برابر با ۰/۴ بدست آورد. او همچنین نتایج گزارشات قبلی مبنی بر کاهش عمق ثانویه در جهش آبی بر روی بستر زبر نسبت به عمق متناظر آن در بستر صاف را تأیید و علت آن را افزایش تنش برشی کف بر روی بستر زبر بیان

به میزان ۶۰ سانتی‌متر افزایش داده شد و مخزنی به ارتفاع ۱/۱ متر ایجاد گردید. سپس با نصب یک دریچه کشویی از جنس پلکسی گلاس در قسمت خروجی مخزن و تغییر در ارتفاع بازشدگی این دریچه، عمق اولیه جهش تنظیم شد. جهت ساخت کف‌های زبر، منشورهای چوبی با فاصله‌های معین بر روی ورقه‌های چوبی نصب شدند. به جهت جلوگیری از ایجاد پدیده کاویتاسیون، سطح بالائی زبری‌ها با سطح بستر بالادست و پائین‌دست کف موج‌دار در یک تراز قرار داده شدند (شکل ۲). برای ایجاد زبری‌ها از منشورهای چوبی با مقطع مثلث که اضلاع آن‌ها بافق زاویه ۴۵ درجه می‌ساختند، استفاده شد (شکل ۳). فاصله دریچه تا محل تشکیل پرش برای تمام آزمایش‌ها ۱۷ سانتی متر در نظر گرفته شد و طول بستر زبر ۱/۶ متر انتخاب گردید. عمق اولیه و ثانویه جهش با استفاده از یک عمق سنج با دقت $\pm 0/1$ میلی‌متر اندازه‌گیری شد و برای اندازه‌گیری طول جهش آبی و طول غلطاب از یک نوار متر منصوب در بدنه کانال استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری دبی، از سرریز مستطیلی جاسازی شده در انتهای کانال استفاده شد و برای کنترل جهش نیز یک دریچه در انتها مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۱۲۶ آزمایش در محدوده اعداد فرود ۴

تا ۱۳/۷ انجام شد. مدل‌های زبری دارای سه ارتفاع (سانتی‌متر ۳ و ۴ و ۲، $t=2$) (شکل ۲) و ۴ فاصله (s) متفاوت بین بلوک‌های مثلثی در نظر گرفته شد بطوریکه در مجموع، ۴ نسبت برای s/t بدست آمد $(\frac{s}{t} = 0, 0.5, 1, 1.5)$. شکل ۳ شمای ساده‌ای از تشکیل پرش روی بستر زبر را نشان می‌دهد.

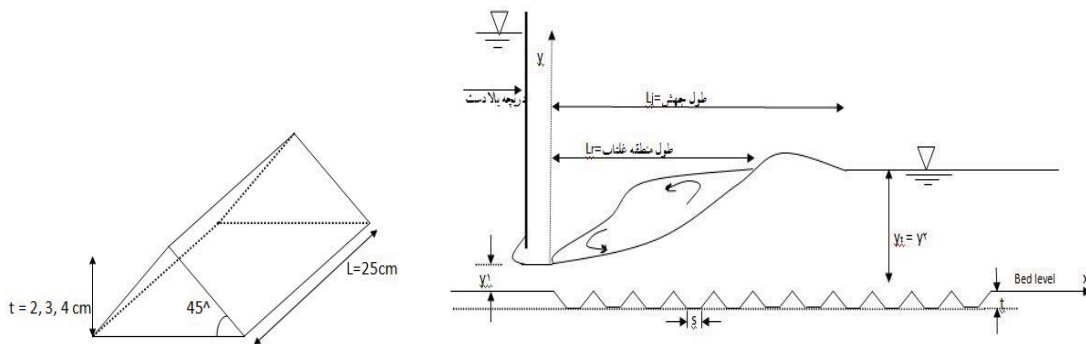
نتایج و بحث

پروفیل سطح آب

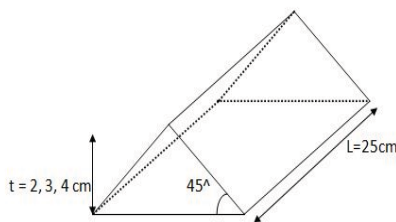
با عکس برداری مستقیم از نیمرخ طولی جهش آبی و رقومی کردن عکس‌ها با استفاده از نرم افزار گرافر ۷، اطلاعات مربوط به پروفیل سطح آب در جهش ثبت شد.

پروفیل‌های بی بعد سطح آب در شکل ۴ نشان داده شده‌اند که

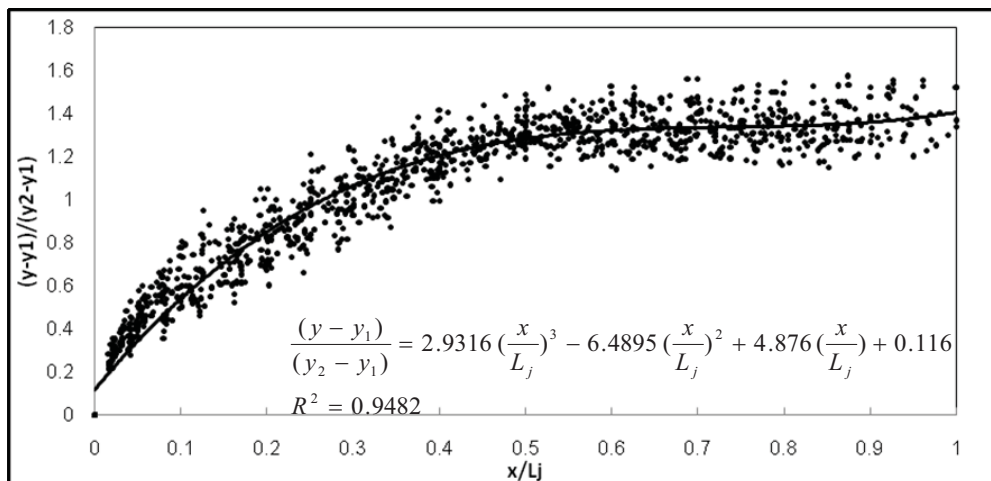
در آن‌ها $(\frac{y-y_2}{y_2-y_1})$ در برابر $(\frac{x}{L_j})$ رسم شده است که در آن y عمق جریان و x فاصله از ابتدای جهش می‌باشد.



شکل ۲- زبری‌های مثلثی شکل



شکل ۳- طرح شماتیک جهش آبی بر روی بستر زبر



شکل ۴- پروفیل‌های بی‌بعد سطح آب در جهش آبی بر روی بستر زبر برای کلیه آزمایش‌ها

بصورت $D = \frac{y_{(s \min)} - y_{(s \max)}}{y_{(s \min)}} \times 100$ که در اینجا

$y_{(s \max)}$ ، $y_{(s \min)}$ به ترتیب عمق پایاب در کمترین و بیشترین فاصله زبری ها در تمام ارتفاعها می باشند، قابل تعریف است. تغییرات D با عدد فرود جریان فوق بحرانی در شکل ۶ نمایش داده شده است. مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر D به ترتیب ۵ و ۰/۲ درصد می باشد. با توجه به شکل ۶ دیده می شود که افزایش فاصله اثر چندانی بر کاهش عمق ثانویه نداشته و حداکثر میزان آن برابر ۵ درصد می باشد.

طول جهش هیدرولیکی

شکل ۷ تغییرات طول نسبی جهش آبی $\frac{L_j}{y_1}$ بر روی بستر زبر همراه داده های حاصل از آزمایش های انجام شده بر روی بستر صاف را در مقابل عدد فرود جریان فوق بحرانی ورودی نشان می دهد. در این حال طول جهش بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش دارد و با افزایش عدد فرود میزان کاهش طول جهش بیشتر می شود.

شکل ۸ نیز درصد کاهش طول پرش بین فواصل حداقل و حداکثر (T) را نشان می دهد.

$$T = \frac{L_{j(s \min)} - L_{j(s \max)}}{L_{j(s \min)}} \times 100 \quad (۶)$$

پارامتر T اثر فاصله ی زبری ها بر طول پرش هیدرولیکی را نشان می دهد، که $L_{j(s \max)}$ طول جهش در بیشترین فاصله و $L_{j(s \min)}$ طول جهش در کمترین فاصله بین زبری ها می باشند.

این نمودار نشان می دهد که پروفیل جهش آبی بی بعد را برای تمام آزمایش ها می توان با یک منحنی میانگین تعریف نمود.

نسبت عمق های مزدوج

عمق ثانویه جهش آبی بر روی بستر زبر تابعی از عوامل موثر بر آن می باشد که بصورت زیر قابل تعریف است.

$$y_2 = f_1(y_1, v_1, g, s, t, v) \quad (۲)$$

در رابطه ۲، S فاصله بین زبری ها، t ارتفاع زبری ها، v لزجت سینماتیک سیال، ρ چگالی متوسط، g شتاب ثقل و v_1, y_1 به ترتیب سرعت جریان و عمق جریان فوق بحرانی ورودی می باشند. با استفاده از قضیه باکینگهام رابطه ۳ حاصل می گردد:

$$\frac{y_2}{y_1} = f_2(Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}, R_1 = \frac{v_2 y_2}{\nu}, \frac{t}{y_1}, \frac{s}{y_1}) \quad (۳)$$

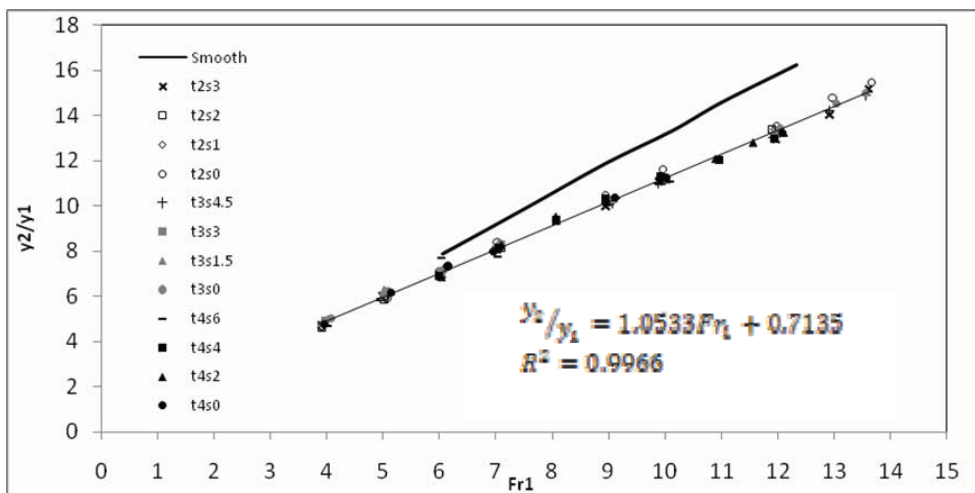
از آنجائی که مقادیر اعداد رینولدز در آزمایش های انجام شده بزرگ است می توان از اثر لزجت چشم پوشی کرد و معادله ۳ بصورت زیر ساده می شود:

$$\frac{y_2}{y_1} = f_3(Fr_1, \frac{t}{y_1}, \frac{s}{y_1}) \quad (۴)$$

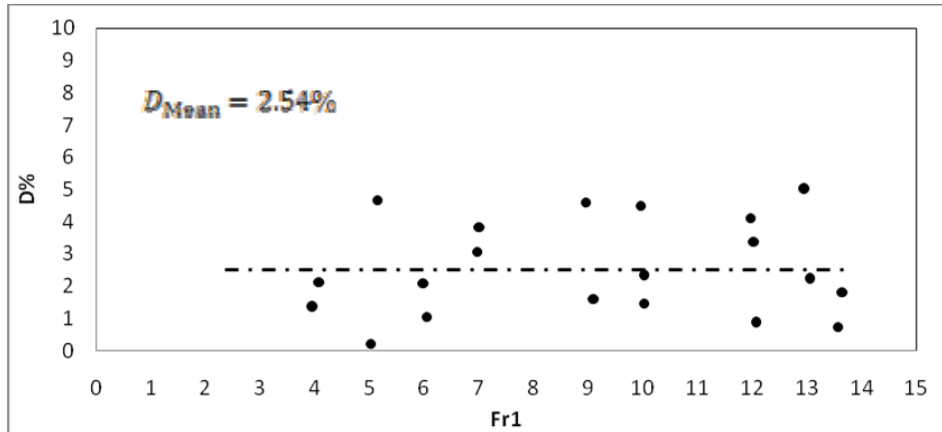
$$\frac{y_2}{y_1} = f_4(Fr_1, \frac{s}{t}) \quad (۵)$$

رابطه $\frac{y_2}{y_1}$ با Fr_1 برای تمام آزمایش ها در شکل ۵ نشان داده

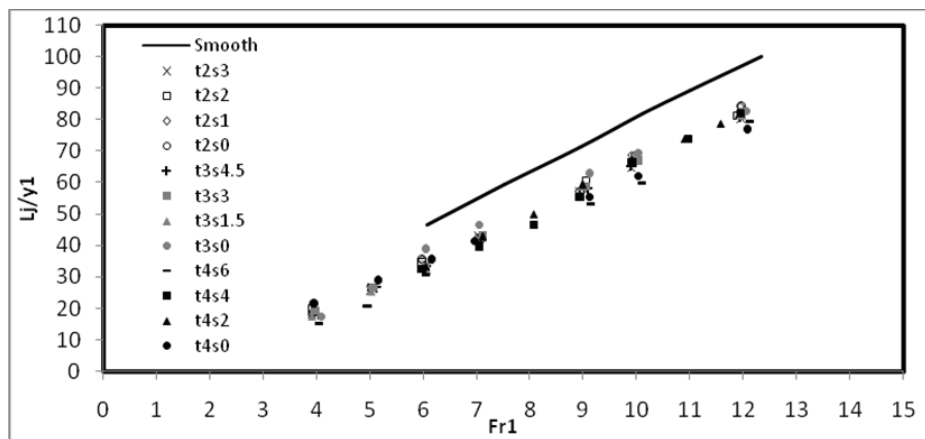
شده است. با توجه به این شکل، نسبت عمق های مزدوج جهش آبی بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش می یابد و این کاهش با افزایش عدد فرود ورودی شدت بیشتری نشان می دهد. برای بررسی اثر تغییر فاصله زبری های بستر بر عمق پرش پارامتر کاهش عمق



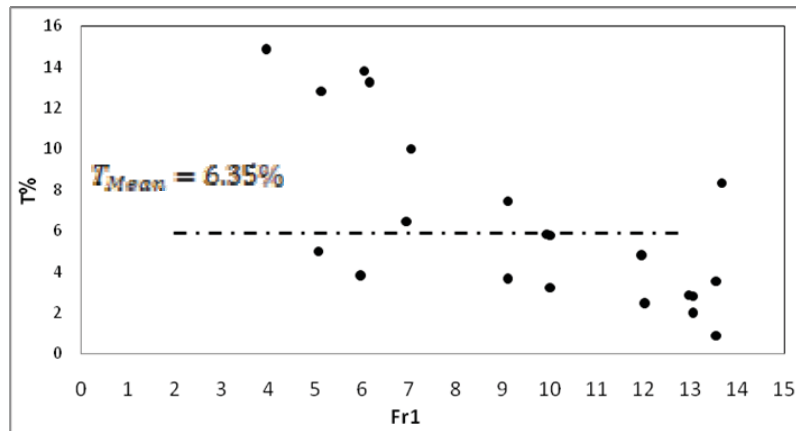
شکل ۵- تغییرات عمق مزدوج نسبی با عدد فرود در بستر صاف و بسترهای زبر برای کلیه آزمایش ها



شکل ۶- تغییرات اختلاف نسبت اعماق مزدوج در فواصل حداقل و حداکثر در مقابل عدد فرود جریان



شکل ۷- تغییرات طول نسبی جهش آبی با عدد فرود در بستر صاف و بستریهای زیر برای کلیه آزمایشها



شکل ۸- تغییرات اختلاف طول جهش در فواصل حداقل و حداکثر در مقابل عدد فرود جریان فوق بحرانی

استهلاک انرژی

افت انرژی E_L و افت انرژی نسبی R_L در جهش آبی به ترتیب به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$E_L = E_1 - E_2 \quad (7)$$

همانطور که از شکل ۸ مشاهده می‌شود، حداکثر میزان T برابر ۱۵ درصد و حداقل آن ۰/۱ درصد می‌باشد. که مقادیر حداکثر مربوط به اعداد فرود پائین می‌باشند و این نشان می‌دهد که در اعداد فرود بالا اثر فاصله زبری ها کاهش می‌یابد.

خود ضریب تنش برشی بستر $\varepsilon = \frac{F_\tau}{\gamma_1^2 / 2}$ را تعریف کرد.

با به کارگیری رابطه بدست آمده توسط راجاراتنام و داده های بدست آمده از آزمایش های انجام شده، تغییرات ضریب تنش برشی بستر (ε) با Fr_1 در شکل ۱۱ رسم شده است.

با استفاده از داده های بدست آمده رابطه بین ε و Fr_1 را می توان بصورت معادله زیر برآورد نمود:

$$\varepsilon = 1.0785Fr_1^2 - 6.1452Fr_1 + 10.539 \quad (11)$$

$$R^2 = 0.9905$$

راجاراتنام (۸) مقدار ε در بستر صاف (در واحد عرض کانال) را بصورت تابعی از عدد فرود بالادست و بصورت زیر بدست آورده است:

$$\varepsilon = 0.16Fr_1^2 - 0.8Fr_1 + 1 \quad (12)$$

از مقایسه رابطه ۱۱ و ۱۲ می توان دریافت که مقدار ε در پرش هیدرولیکی بر روی بسترهایی با زبری مثلثی بطور متوسط ۱۰ درصد بیشتر از ε بر روی بسترها صاف می باشد.

نتیجه گیری

۱- مجموعه بررسی های صورت گرفته بر روی ویژگی های پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر (زبری های مثلثی) بصورت خلاصه در ادامه جمع بندی شده است.

۲- نتایج نشان می دهد پروفیل جهش آبی بی بعد را برای تمام حالات آزمایشی می توان با یک منحنی میانگین تعریف نمود. که بیانگر آنست تغییرات تراز سطح آب در پرش متأثر از اثر زبری های بستر نمی باشد.

۳- نسبت عمق های مزدوج جهش آبی بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش می یابد و این کاهش با افزایش عدد فرود جریان ورودی شدت بیشتری می یابد.

$$R_L = \frac{E_1}{E_2} \quad (8)$$

در آن E_1 و E_2 به ترتیب ارتفاع انرژی مخصوص جریان در ابتدا و انتهای جهش آبی می باشند.

در شکل ۹ تغییرات افت انرژی نسبی در مقابل Fr_1 رسم شده است. از شکل بنظر می رسد مقدار افت نسبی انرژی در بسترهای زبر بزرگتر از بسترهای صاف است و این اختلاف با افزایش Fr_1 ، افزایش می یابد. حداکثر افت نسبی انرژی در بستر زبر در حدود ۸۳ درصد بوده و افزایشی در حدود ۱۸ درصد نسبت به بستر صاف نشان می دهد.

درصد افزایش افت انرژی در فواصل حداقل و حداکثر به صورت زیر تعریف شده است.

$$G = \frac{E_{L(s \max)} - E_{L(s \min)}}{E_{L(s \max)}} \times 100 \quad (9)$$

که $E_{L(s \min)}$ ، $E_{L(s \max)}$ به ترتیب افت انرژی در فاصله حداکثر و حداقل زبری ها می باشند.

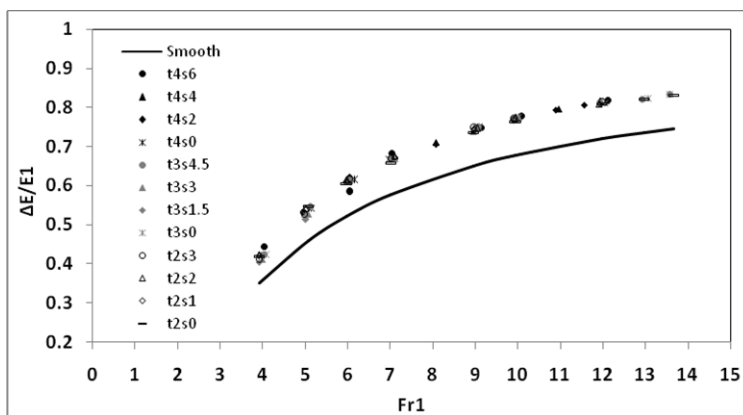
در شکل ۱۰ می توان ملاحظه کرد که تغییر فاصله زبری ها اثر چندانی در میزان افت انرژی ندارد و حداکثر برابر ۳/۲ درصد می باشد که مقدار اندکی است.

تنش برشی

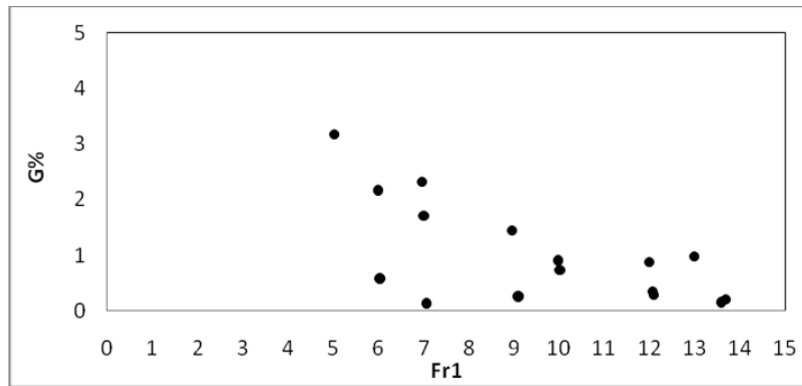
دلیل اصلی کاهش عمق ثانویه در جهش آبی بر روی بسترهای زبر در مقایسه با بسترهای صاف وجود تنش برشی اضافه است. اگر جمع نیروهای برشی بستر بر روی سطح افقی هم تراز با تاج زبری ها در طول جهش باشد، با استفاده از معادله مومنتم می توان بیان کرد:

$$F_\tau = (P_1 - P_2) + (M_1 - M_2) \quad (10)$$

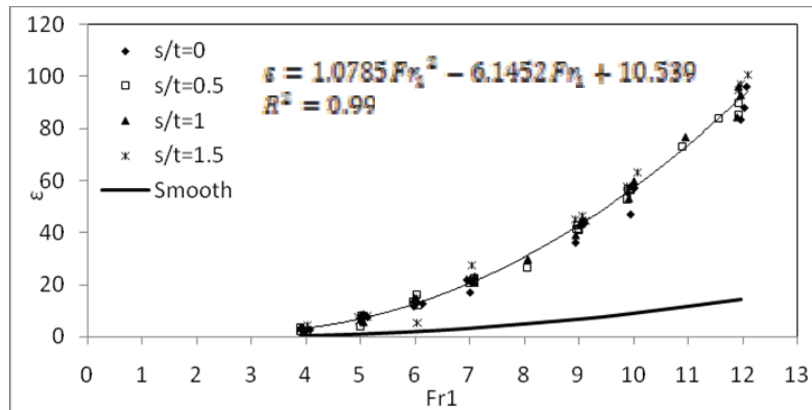
که در آن P و M مقادیر فشار و مومنتم و اندیس های ۱ و ۲ به ترتیب نشانگر مقاطع قبل و بعد از جهش می باشند. راجاراتنام (۷) در تحقیق



شکل ۹- تغییرات افت نسبی انرژی جهش آبی با عدد فرود در کلیه بسترها



شکل ۱۰- تغییرات اختلاف افت انرژی در فواصل حداقل و حداکثر در مقابل عدد فرود جریان



شکل ۱۱- تغییرات ضریب تنش برشی کف با عدد فرود

- ۴- در کمترین آن‌ها بطور متوسط ۶/۳۵ درصد کاهش دارد.
- ۷- حداکثر افت انرژی در بستر زبر به حدود ۸۳ درصد می‌رسد.
- ۸- تغییر فاصله زبری‌ها تقریباً نقش موثری بر افت انرژی ایفاء نمی‌کند.
- ۹- مقدار ε در پرش هیدرولیکی بر روی بستری با زبری مثالی قائم بطور متوسط ۱۰ برابر نسبت به بستر صاف می‌باشد.

- ۴- مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر D به ترتیب ۵ و ۰/۲۲ درصد می‌باشد. که حاکی از اثر نامحسوس فاصله زبری‌ها بر عمق ثانویه پرش است.
- ۵- طول جهش بر روی بستر زبر نسبت به بستر صاف کاهش دارد و با افزایش عدد فرود میزان کاهش طول جهش بیشتر می‌شود.
- ۶- طول جهش در بیشترین فاصله زبری‌ها نسبت به طول جهش

منابع

- 1- Abbaspour A., and Hosseinzadeh Dalir A. 2009. Effect of sinusoidal corrugated bed on hydraulic jump characteristics. Journal of Hydro-environment Research. 3:109-117.
- 2- Ead S.A., 2007. Effect of bed corrugations on the characteristics of a hydraulic jump. Final Research Report 14/427. King Saud University. College Of Engineering. Research Center.
- 3- Ead S.A., and Rajaratnam N. 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering ASCE. 128:656-663.
- 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. August 9-14.
- 5- Hughes W.C., and Flack J.E. 1984. Hydraulic jump properties over a rough bed. Journal of Hydraulic Engineering ASCE. 110:1755-1771.
- 6- Izadjoo F., and Shafai-Bejestan M. 2007. Corrugated Bed Hydraulic Jump Stilling Basin. Journal of Applied Science. 7:1164-1169.
- 7- Rajaratnam N. 1965. The Hydraulic Jump as a Wall Jet. Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Engineering, 91(5):107-132.
- 8- Rajaratnam N. 1968. Hydraulic jumps on rough beds. Trans. Eng. Inst. Canada. 11(A-2). 1-8.

The Effect of Triangular Blocks on the Characteristics of Hydraulic Jump

A. Najandali^{1*}- K. Esmaili²- J. Farhodi³

Received:20-2-2011

Accepted:4-4-2012

Abstract

High energy losses by hydraulic jump caused these phenomena known as dissipater energy through water conveyance channels. Basin bottom roughness is an important factor for control, reducing length and conjugated depth and increase energy losses by hydraulic jump. In this study the effects of cross triangular roughness space on hydraulic jump is investigated. Total of 126 experiments were carried out on rough bed with different distance in the Froude number of incoming flow was varying between 4 to 13.7. Comparing the final result showed that secondary depth and hydraulic jump length will decrease considerably on rough bed in compare to smooth bed. The energy loss will increase and it will be intensified by climbing Froude number. The non-dimensional flow profile of hydraulic jump follows a unified curve. It was also revealed that the increase in height and spacing of rough elements decrease the length of jump, length of rollers and the sequent depth. It is found the bed shear stress is 10 times bigger than that on smooth bed.

Keywords: Rapidly Varied Flow, Hydraulic jump, Energy Loss, Triangular Block, Space of Block

1,2 -Mcs Student and Assistant Professor of Water Engineering Department, College of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: Najand_a@yahoo.com)

2 - Professor of Hydraulic Structure, Agriculture Engineering and Technology College, University of Tehran, Karaj