



تعیین اثر زبری بر مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش واگرا

محمد حسین نوراله دزفولی^۱، امیرعباس کمان بدست^{۲*}، علیرضا مسجدی^۲، محمد حیدر نژاد^۲، محمد حسین پورمحمدی^۳

۱. گروه علوم ومهندسی آب، پردیس علوم وتحقیقات خوزستان واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.

۲. گروه علوم ومهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاداسلامی، اهواز، ایران.

۳. گروه علوم ومهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاداسلامی، شوشتر، ایران.

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: ka57_amir@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۰۳/۱۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/JMST.2020.221765.2356

چکیده

یکی از روش‌های کنترل پرش هیدرولیکی در پائین دست سازه‌های هیدرولیکی و تامین عمق پایاب مناسب، استفاده از حوضچه آرامش با واگرایی ناگهانی است. مطالعات گذشته نشان داده است که در این حوضچه‌ها طول پرش و در نتیجه طول حوضچه نسبت به حوضچه کلاسیک افزایش دارد. از سوی دیگر زبر کردن بستر از جمله تمهیداتی است که می‌تواند به منظور کاهش طول حوضچه مورد استفاده قرار گیرد. حال این سوال مطرح خواهد بود که میزان تاثیر زبر کردن بستر چقدر می‌باشد. لذا در این مطالعه تاثیر حضور زبری بر طول پرش در حوضچه‌های واگرایی ناگهانی بررسی شده است. برای این منظور آزمایشات در فلومی با طول ۱۲ متر و عرض و ارتفاع ۰/۸ و ۰/۷ متر با واگرایی متقارن با نسبت بازشدگی ۰/۳۳ در محدوده اعداد فرود ۲ تا ۱۰ انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که زبری‌ها افزایش ۳۱ درصدی طول پرش حاصل از واگرایی ناگهانی نسبت به پرش کلاسیک، را به میزان ۱۲ درصد نسبت کاهش داده است و از نظر طول حوضچه مشابه حوضچه USBR-II می‌باشد. همچنین زبری‌ها باعث کاهش طول غلتاب به میزان ۲۰ درصد نسبت به پرش در مقطع ناگهانی ولی بستر صاف خواهد شد.

واژگان کلیدی: جهش آبی، واگرایی ناگهانی، طول پرش، حوضچه آرامش، زبری.

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

پرش هیدرولیکی پدیده‌ای است که در آن جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی تبدیل می‌شود. در اثر پدیده پرش هیدرولیکی عمق جریان در مسیر نسبتاً کوتاهی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و ضمن ایجاد افت انرژی محسوس، از میزان سرعت جریان به اندازه قابل توجهی کاسته می‌گردد. پرش هیدرولیکی در منطقه ای رخ می‌دهد که دارای انتقال تند و ناگهانی رژیم جریان از حالت فوق بحرانی (عدد فرود دنسیومتریکی بزرگتر از یک و عدد ریچاردسون کمتر از واحد) به حالت زیر بحرانی (عدد فرود دنسیومتریکی کوچکتر از یک و عدد ریچاردسون بیشتر از واحد) باشد (Bahrami et al., 2017). ساده ترین حوضچه آرامش، شامل کانالی مستطیلی، مستقیم و تقریباً افقی است که در آن جهش در طول مشخصی اتفاق می‌افتد. ولی این نوع حوضچه آرامش دارای مشکلاتی نظیر نیاز به تراز نسبتاً زیاد پایین دست برای تضمین تشکیل جهش و پایداری نسبتاً ضعیف جهش، است.

برای رفع این مشکلات، استفاده از واگرایی راه حل عملی و اقتصادی می‌باشد (Hager and Bremen, 1993). مشکل اصلی حوضچه‌های واگرا تمایل به جریان نامتقارن می‌باشد که خود به دو عامل بزرگی منطقه آب ساکن و گستردگی کم جت ورودی بستگی دارد (Hager and Bremen, 1993).

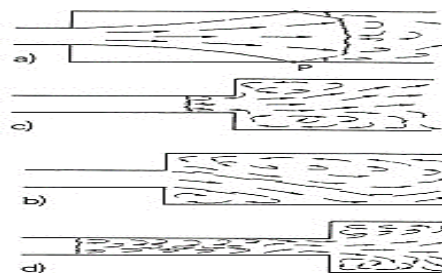
در مقطع واگرا متغیر اصلی عمق پایاب است و بسته به نسبت عمق مزدوج به عمق اولیه برای هر نسبت بازشدگی و هر عدد فرودی پنجه پرش به سمت بالادست و یا پایین دست انتقال می‌یابد. پرش در مقاطع واگرایی ناگهانی با توجه به موقعیت پنجه پرش (فاصله عمق اولیه از محل تغییر مقطع) که وابسته به عمق پایاب است، به چهار نوع پرش به شرح زیر تقسیم بندی می‌شود. شکل ۱ انواع این پرش‌ها که عبارتند از: پرش فرار (R-jump)، پرش گسسته (S-jump)، پرش انتقالی (T-jump) و

پرش کلاسیک (Classical jump) را نشان می‌دهد (Hager and Bremen, 1993).

با توجه به اهمیت شناخت این نوع پرش‌ها، مطالعات متعددی از دیر باز توسط محققین مختلفی انجام شده است که از جمله می‌توان به مطالعات Herbrand (1973) اشاره کرد. او در مطالعه خود پرش گسسته را بر روی بستر صاف مورد بررسی قرارداد و رابطه ۱ و ۲ را برای پیش‌بینی طول پرش ارائه کرد (Matin et al., 1997) که در این رابطه L_{jB} طول پرش در کانال واگرایی ناگهانی با نسبت های 0.29 ، 0.5 و 0.71 ، L_{j*} طول پرش در کانال منشوری است که با استفاده از رابطه ۳ که به رابطه هاگر برای پرش کلاسیک معروف است، به دست می‌آید.

Hager و Bremen (1993)، با مطالعه پرش نوع انتقالی (T-jump) در مقاطع واگرایی متقارن و نامتقارن، با تعریف پارامتر بی بعد پنجه پرش رابطه‌ای را برای طول پرش ارائه دادند (رابطه ۴). در رابطه ۴، X پارامتر بی بعد پنجه است که به وسیله محل پرش در بالادست مقطع واگرا تعریف می‌شود و شامل رابطه ۵ می‌شود که در آن X فاصله از پنجه پرش است که از محل واگرایی در خلاف جهت جریان اندازه گیری می‌شود. اگر پرش در محل تغییر مقطع رخ دهد، پرش از نوع گسسته (S-jump) خواهد بود و طول پرش با توجه به مقدار نسبت بازشدگی، ضریب ثابتی (بزرگتر از یک) از طول پرش کلاسیک شده و رابطه ۶ تشکیل خواهد شد که در آن L_{j*} طول غلتاب پرش کلاسیک است و از رابطه Hager et al. (1990) قابل محاسبه است (Hager and Bremen, 1993). (رابطه ۷).

Alhamid (2004) با انجام مطالعه‌ای بر روی پرش S-jump در کانال‌های افقی و شیبدار با مقطع واگرایی ناگهانی با نسبت های 0.33 ، 0.5 و 0.67 مورد بررسی قرار داد. وی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی خود و (Herbrand K., 1973) رابطه ۸ را پیشنهاد داده است.



شکل ۱- انواع پرش در مقطع واگرایی ناگهانی (a) پرش فرار (b) پرش گسسته (c) پرش انتقالی (d) پرش کلاسیک

Fig.1- Types of sudden jump divergence a) Escape jump b) Discrete jump c) Transitional jump d) Classic jump

تعیین اثر زبری بر مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش واگرا کمان دوست و همکاران

$$\frac{L_{jB}}{L_j^*} = 0.8 = 4 \left(\frac{Y_B}{Y^*} \right) \quad : \text{ for } B < 0.64 \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\frac{L_{jB}}{L_j^*} = \sqrt{B} \quad : \text{ for } B > 0.64 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\frac{L_j^*}{y_1} = 220 \operatorname{tgh} \left(\frac{F_{r1} - 1}{22} \right) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\frac{L_{jB}}{L_j^*} = 1 + (1 - \sqrt{B}) \cdot [1 - \operatorname{tgh}(1.9X)] \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$X = \frac{x}{L_r^*} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\frac{L_{jB}}{L_j^*} = 2 - \sqrt{B} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$\frac{L_r^*}{y_1} = -12 + 160 \operatorname{tgh} \left(\frac{F_{r1}}{20} \right) \quad , F_1 > 2.5 \quad \text{رابطه (۷)}$$

$$\frac{L_{jB}}{L_j^*} = 1 - \frac{1.184 \operatorname{Ln}(B)}{F_1^{1.677}} \quad \text{رابطه (۸)}$$

Shafei Bajestan و Neisi (2003) استفاده از زبری های با شکل های مختلف پرداختند. نتایج این تحقیقات نشان داد که زبری بطور موثری باعث کاهش طول پرش می گردد.

روابطی نیز توسط این محققین برای برآورد طول پرش و طول غلتابی ارائه شده است که جدول (۱) تعدادی از این روابط را نشان می دهد. در روابط جدول (۱)، L_{jR} طول پرش در بستر زبر کانال منشوری، L_{TR} طول غلتاب بر بستر زبر در کانال منشوری و K_S ارتفاع زبری است.

از جمله روش های کاهش هزینه احداث حوضچه های آرامش تغییر شکل مقطع و پلان حوضچه در جهت هماهنگی با مقاطع بالادست و پایین دست، بدون استفاده از سازه های تبدیل می باشد. از طرفی هرگونه تغییر در هندسه حوضچه شرایط ایجاد جهش و خصوصیات هیدرولیکی آن را تحت تاثیر قرار می دهد. لذا استفاده از حوضچه آرامش واگرا به دلیل حذف سازه تبدیل و تاثیر مثبت بر پارامترهای جهش هیدرولیکی مورد توجه طراحان قرار گرفته است.

همان گونه که مطالعات گذشته در زمینه پرش واگرای ناگهانی نشان داده است، پرش نوع S بیشترین تاثیر را در استهلاک انرژی جنبشی نسبت به دیگر انواع پرش های واگرای ناگهانی در مقایسه با پرش کلاسیک دارد، همچنین هرچه نسبت بازشدگی مقطع کمتر باشد راندمان پرش بیشتر خواهد بود اما در حوضچه های واگرای ناگهانی مشکل افزایش طول پرش نسبت به پرش کلاسیک وجود دارد، از آنجا که تحقیقات گذشته نشان داده که در حوضچه های آرامش زبری بستر تاثیر بسزایی در کاهش مشخصات پرش و از جمله طول پرش دارد. لذا در این مطالعه هدف بررسی پرش هیدرولیکی نوع S با نسبت بازشدگی ۰/۳۳ با حضوری زبری و تعیین میزان تاثیر زبری بر مشخصات پرش واگرای ناگهانی می باشد.

مطالعه Alhamid (2004)، نشان داد که افزایش نسبت بازشدگی باعث کاهش مقادیر $\frac{L_{jB}}{L_j^*}$ و $\frac{L_{jR}}{y_2}$ خواهد شد. از آنجایی

که ابعاد حوضچه آرامش به مشخصات پرش هیدرولیکی بستگی دارد. لذا به منظور کاهش هزینه های اجرایی با ایجاد تمهیداتی، پرش و به تبع آن طول حوضچه آرامش کاهش داده می شود. از جمله این تمهیدات در نظر گرفتن بلوک می باشد. وجود بلوک در مقابل جریان آب باعث جداسدگی جت ورودی و استهلاک بیشتر انرژی می گردد. اما از آنجا که این بلوک ها مستقیماً در برابر جت ورودی قرار می گیرند نه تنها از نظر سازه ای باید مقاوم باشند بلکه در سرعت جریان ورودی بیش از ۱۷ متر بر ثانیه منجر به پدیده کاویتاسیون می گردند (Peterka, 1958). با توجه به مشکلات کاربرد بلوک ها، زبری بستر می تواند جایگزین مناسبی برای کاهش مشخصات پرش باشد.

زبری ها در واقع المان هایی هستند که در کف کانال به گونه ای قرار خواهند گرفت که ممانعتی در برابر جریان ایجاد نمی نمایند. سطح فوقانی زبری ها می بایست کاملاً در زیر عمق اولیه پرش و هم تراز کف کانال بالادست باشد. وجود زبری های کف باعث می شود که در یک حجم کنترل مقدار مومنتم خروجی به اندازه نیروی مقاومتی زبری ها کمتر از مومنتم ورودی شود، (Carolo et al., 2007).

مطالعات متعددی در خصوص پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر، توسط محققین مختلف انجام شده است که از جمله می توان به مطالعه Rajaratnam (1968) در استفاده از زبری - های ممتد مثلثی، Ead و Rajaratnam (1967) در استفاده از زبری های مودار، Mohamed Ali (1991) در مطالعه استفاده از زبری تصنیعی مکعبی، Alhamid (2004)، استفاده از زبری های مکعب مستطیلی، Shafei Bajestan و Izadjoo (2007)، استفاده از زبری های موجی شکل دوزنقه ای، و

جدول ۱- تعدادی از روابط پیش بینی طول پرش و طول غلتابی در حوضچه با بستر زبر

Table 1. A number of relationships predict the length of the jump and the length of the swell in the basin with the rough bed

رابطه	نام محقق	رابطه	توضیحات
(۹)	Mohamed Ali, 1991	$\frac{L_{JR}}{y_1} = -43.88 + [38.7 \ln(F_{r1})]$	بستر زبر مکعبی شکل و عدد فرود بین ۴ تا ۱۰
(۱۰)	Alhamid, 2004	$\frac{L_{JR}}{y_1} = 8.3792 F_{r1} - 9.6816$	زبری مکعب مستطیلی
(۱۱)	Shafei Bajestan and Neisi (2003)	$\frac{L_{JR}}{Y_2} = a' F_{r1}'$	زبری مکعب مستطیلی، لوزی، دایره ای، مثلثی و شش ضلعی - عدد فرود بین ۵ تا ۱۲ (ضرائب به شکل زبری بستگی دارد)
(۱۲)	Hager et al., 1990.	$\frac{L_r^*}{y_1} = 8(F_{r1} - 1.5)$	بستر صاف- عدد فرود بین ۴/۵ تا ۸
(۱۳)	Carolo et al., 2007	$\frac{L_{rR}}{y_1} = \left[6.525 \text{Exp}\left(-0.6 \frac{K_s}{y_1}\right) \right] (F_{r1} - 1)$	زبری طبیعی- عدد فرود بین ۴ تا ۱۲
(۱۴)	Hager and Bremen, 1993 اسمتانا (۱۹۳۷) و کارولوفرو (۲۰۰۴)	$\frac{L_{rR}}{y_1} = a(D_R - 1)$	هاگر و همکاران (۱۹۹۰) مقادیر ضرائب a و $a0$ را به ترتیب ۴/۶۱۶ و ۲/۲۴۴
(۱۵)	Ead and Rajaratnam, 2002	$\frac{L_{rR}}{y_1} = a_0 (D_R)^{1.272}$	بستر زبر
(۱۶)	Carolo and Ferro, 2004	$\frac{L_{rR}}{y_1} = b_0 (F_{r1} - 1)$	

با در نظر گرفتن شکل شماتیک ۲، رابطه‌ی کلی برای تعیین طول پرش و طول غلتاب را می‌توان با استفاده از تحلیل ابعادی به صورت زیر (رابطه ۱۷) بدست آمده است. در این رابطه L_{rBR} و L_{jBR} به ترتیب طول پرش و طول غلتاب در پرش واگرای با بستر زبر است. I ، K_s و ρ_c ارتفاع، تراکم و جرم مخصوص زبری‌ها، ρ_w و ν به ترتیب جرم واحد حجم و لزجت سینماتیک آب، g شتاب ثقل، V_1 سرعت اولیه جریان، y_1 و y_2 عمق اولیه و ثانویه پرش، b_1 و b_2 عرض مقطع در بالادست و پایین‌دست است. رابطه‌ی فوق با استفاده از تئوری باکینگهام و با انتخاب y_1 ، V_1 و ρ_w به عنوان متغیرهای تکراری به معادله‌ی بدون بعد در رابطه ۱۸ می‌آید.

در مطالعات پرش هیدرولیکی مقدار نیروهای لزجت در مقایسه با نیروهای ثقل بسیار ناچیز بوده لذا می‌توان از تأثیر عدد رینولدز صرف‌نظر کرد. همچنین در این مطالعه ارتفاع و جنس زبری‌ها، تراکم زبری‌ها و نسبت بازشدگی مقطع ثابت بوده، در نتیجه می‌توان رابطه ۱۹ را تعریف کرد.

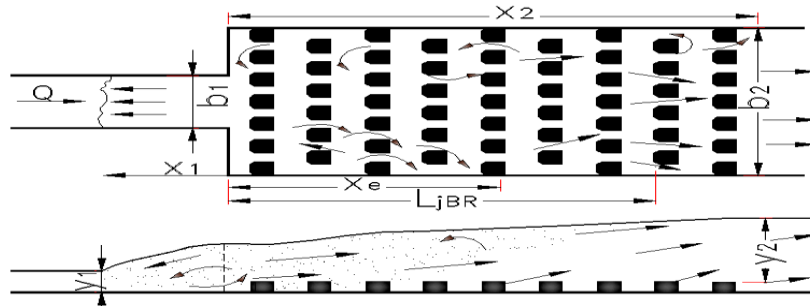
با توجه به مطالعات گذشته در زمینه پرش واگرای ناگهانی پرش نوع S بیشترین تأثیر را در استهلاک انرژی در مقایسه با دیگر انواع پرش هیدرولیکی در مقاطع واگرای ناگهانی دارد و همچنین هرچه نسبت بازشدگی مقطع بیشتر باشد، میزان این راندمان بیشتر خواهد بود.

۲. مواد و روش‌ها

طرح پرش هیدرولیکی در مقطع واگرای ناگهانی با بستر زبر در شکل (۲) نشان داده شده است. جهش هیدرولیکی در مقطع واگرای ناگهانی با توجه به شرایط جریان ورودی همانند عمق جریان، عدد فرود و موقعیت پنجه پرش تعریف می‌شود.

در مطالعه پدیده‌ها در آزمایشگاه روابط بین عوامل موثر بر آن پدیده مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در اینجا نقش مهم گروه‌های بدون بعد در تفسیر و ارائه نتایج آزمایشگاهی و برقراری روابط بین عوامل درگیر در شناخت پدیده مورد مطالعه روشن می‌شود (Boroujerdi and kamanbedast, 2020).

با توجه به شکل ۲، X_1 ، فاصلاً پنجه پرش تا محل تغییر مقطع، طول پرش محلی است که تقریباً ارتفاع سطح آب در آنجا با ارتفاع پایاب برابر و جریان پایدار است، از آنجا که در جریان‌های واگرا پرش نامتقارن است و جهت آن کاملاً تصادفی است لذا دو طول غلتاب وجود دارد. گردابهایی که در جهت جریان هستند گردابهایی کوتاه‌تر (X_0) و وساعتگرد و گرداب‌هایی که در خلاف جهت جریان می‌باشند. گرداب‌های بزرگتر (X_2) و پادساعتگرد می‌باشند. گرداب‌های بزرگتر تا عمق ثانویه پرش ادامه می‌یابند. طول غلتاب کوتاه‌تر عبارت است از فاصله بین مقطع اولیه پرش تا آخرین موج غلتان در جهت جریان.



شکل ۲- توصیف جهش در مقطع واگرایی ناگهانی

Fig. 2- Description sudden jumps in divergent cross-section

$$f(\rho_w, \nu, g, V_1, y_1, y_2, b_1, b_2, \rho_c, K_s, I, L_{jBR}, L_{rBR}) = 0 \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$f\left(\frac{\nu}{V_1 y_1}, \frac{g y_1}{V_1^2}, \frac{b_1}{y_1}, \frac{b_2}{y_1}, \frac{\rho_c}{\rho_w}, \frac{K_s}{y_1}, I, \frac{L_{jBR}}{y_1}, \frac{L_{rBR}}{y_1}, \frac{y_{2R}}{y_1}\right) = 0 \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\frac{L_{rBR}}{y_2} \quad \text{یا} \quad \frac{L_{jBR}}{y_2} = f(F_1) \quad \text{رابطه (۱۹)}$$



شکل ۳- تصاویر فلوم آزمایشگاهی

Fig.3- Laboratory Flume Images

پایین دست همواره به گونه‌ای تنظیم می‌شد که عمق اولیه پرش در محل تغییر پرش رخ دهد.

به منظور زبر کردن بستر از زبری‌های مصنوعی ناپیوسته‌ای با آرایش زیگزاگ ۷-۶-۷ با فواصل عرضی ۷/۵ و فواصل طولی ۱۵ سانتی متر در طول ۲ متر از فلوم با تراکم حدوداً ۱۱ درصد استفاده شد. این نوع آرایش، تراکم و ارتفاع زبری‌ها نتیجه مطالعات Kazemianzadeh و Shafei Bajestan (2008) و Allahdaddy و Shafei Bajestan (2008) می‌باشد. شکل زبری‌ها نیز براساس مطالعات Shafei Bajestan و Neisi (2003) می‌باشد.

اولین ردیف از زبری‌ها مطابق با مطالعات Mohamed Ali (1991) به اندازه ارتفاع زبری‌ها از محل تشکیل عمق اولیه پرش (که در این پژوهش در محل تغییر مقطع بوده است) کارگذاری شد. به منظور ایجاد واگرایی در کانال، می‌توان کانال

بر این اساس، هدف این مطالعه بررسی میزان تاثیرگذاری زبری مصنوعی بر مشخصات پرش نوع S در کانال واگرایی ناگهانی با نسبت بازشدگی $B=0.33$ می‌باشد. برای این منظور آزمایشات در فلومی به طول ۱۲ متر عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۷ متر از جنس شیشه و پلاکسی گلاس انجام شد.

به منظور تشکیل پرش و ایجاد جریان فوق بحرانی از دریچه کشویی استفاده شد. به منظور جلوگیری از انقباض خطوط جریان خروجی از دریچه و همچنین اینکه عمق اولیه پرش با بازشدگی دریچه برابر باشد شکل بالادست دریچه بصورت نیم دایره بوده است. در پایین دست فلوم به منظور تثبیت موقعیت پرش از دریچه کشویی دیگری استفاده شد. طبق مطالعات الحمید و متین و همکاران از آنجا که پرش نوع S بیشترین استهلاک انرژی را ایجاد می‌نماید بنابراین در تمام آزمایشات دریچه

مقدار ۱۸ درصد نسبت به پرش کلاسیک خواهد شد. در پرش واگرا، واگرایی مقطع باعث کاهش عمق مزدوج شده و بنابراین در طول بیشتری جریان پایدار و به عمق پایاب نزدیک خواهد شد اما حضور زبری باعث رشد سریع لایه مرزی و افزایش تنشهای رینولدزی شده و طول پرش را کاهش می‌دهد. بنابراین باعث می‌شود جریان در طول کمتری نسبت به پرش کلاسیک (بستر صاف) به شرایط توسعه یافته برسد و در نتیجه انرژی آن در طول کوتاهتری مستهلک گردد.

به منظور بررسی میزان تغییرات طول پرش هیدرولیکی در شرایط مختلف نسبت به طول پرش کلاسیک می‌توان ضریب S^* به شرح رابطه (۲۰) را محاسبه کرده است. مقدار S^* برای حالات مختلف با استفاده از رابطه (۲۰) در جدول ۲ نشان داده شده است.

با توجه آنالیز ابعادی طول بی‌بعد پرش تابعی از عدد فرود نشان داده شد. از این‌رو به منظور نشان دادن این پارامتر و مقایسه آن با حوضچه‌های آرامش استاندارد USBR (شکل ۶) ترسیم گردید. در این شکل نشان داده شده است که حوضچه آرامش واگرایی ناگهانی با بستر زبر مورد مطالعه در این تحقیق، تقریباً عملکردی مشابه حوضچه USBR-Type I, II دارد.

در شکل ۷ طول بعد شده پرش هیدرولیکی در برابر عدد فرود اولیه نشان داده شده و همچنین با پرش در کانالهای منشوری صاف و زبر مورد مقایسه قرار گرفته است. همانگونه که در شکل نشان داده شده، زبری با ایجاد گردابه در فواصل طولی بین ردیف‌های زبری باعث کاهش طول پرش شده است اما میزان این کاهش در کانال منشوری زبر بیش از کانال واگرایی زبر می‌باشد. که این دلیل آن است که در مقطع اولیه جریان، افزایش دبی واحد عرض، باعث کاهش عمق مزدوج پرش شده و در نتیجه پرش در طول بیشتری به عمق پایاب مورد نظر می‌رسد. با توجه به شکل ۷ با افزایش عدد فرود اولیه، دلیل کاهش عمق مزدوج ولزوم طی مسیر بیشتر برای به تعادل رسیدن، طول پرش افزایش می‌یابد.

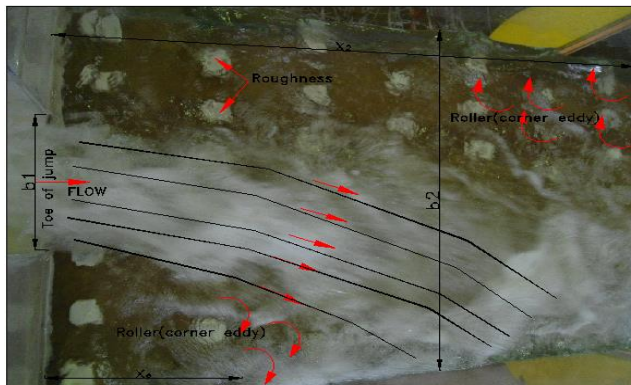
را بصورت متقارن (تنگ شدگی در دو طرف کانال) و یا نامتقارن (تنگ شدگی در یک طرف کانال) واگرا نمود. به منظور ایجاد مقطع واگرایی متقارن از جعبه‌هایی از جنس پلاستیکی گلاس با طول ۱۲۰، عرض ۲۷ (به منظور ایجاد نسبت بازشدگی ۰/۳۳) و ارتفاع ۶۰ سانتی متر در دو طرف مقطع استفاده شد.

در هر مرحله از آزمایشات با تنظیم بازشدگی دریچه، پمپ روشن شده، دبی جریان به تدریج افزایش یافته تا به دبی مورد نظر برسد. سپس دریچه پایین دست به گونه‌ای تنظیم می‌گردید که پرش در محل تغییر مقطع رخ دهد. پس از پایداری شرایط مقدار دبی جریان بوسیله دبی سنج آلتراسونیک قرائت شده، طول پرش و طول غلتاب کوچک‌تر (غلتاب در جهت جریان) بوسیله متر اندازه‌گیری گردید. در شکل (۳) تصاویر فلوم آزمایشگاهی را مشاهده می‌نمایید.

۳. نتایج

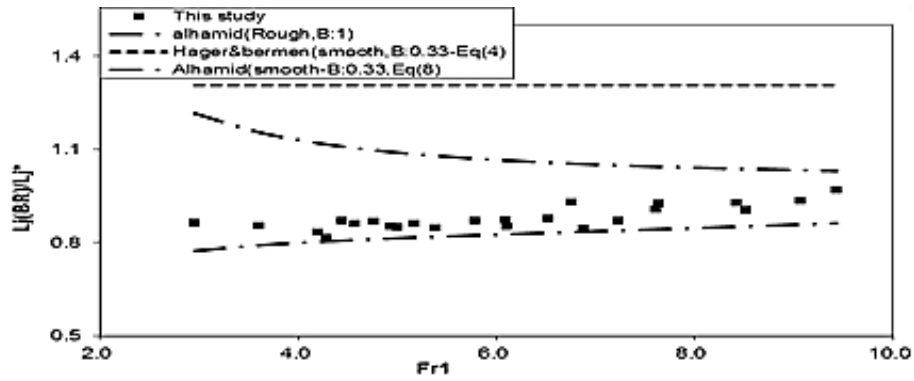
شکل (۴) تصویری از پرش هیدرولیکی بر بستر زبر در مقطع واگرایی ناگهانی با نسبت ۰/۳۳ را نشان می‌دهد. همانگونه که در تصویر مشاهده می‌شود به منظور ایجاد پرش نوع S_2 دریچه پایین دست طوری تنظیم می‌گردید که پنجه پرش دقیقاً در محل تغییر مقطع رخ دهد. پرش تشکیل شده نامتقارن، جهت آن کاملاً تصادفی و گردابه‌های تشکیل شده در جهت جریان گردابه‌های ساعتگرد و کوتاهتر و گردابه‌های ایجاد شده در خلاف جهت جریان، پادساعتگرد و طولانی تر می‌باشند.

با توجه به مطالعات و رابطه ارائه شده (رابطه ۶) توسط Hager و Bremen (1993) نشان داده شده که پرش در مقاطع واگرایی ناگهانی باعث افزایش طول پرش خواهد شد. لذا در این مطالعه تاثیر زبریها در کاهش طول پرش مورد بررسی قرار گرفته و همانگونه که در شکل ۵ نشان داده شده است، در کانال واگرا با نسبت بازشدگی ۰/۳۳ و بستر صاف، میزان افزایش طول پرش نسبت به پرش کلاسیک با توجه به روابط (۴) و (۸) به ترتیب ۳۱ درصد و ۸ درصد می‌باشد. در این مطالعه نشان داده شد که زبری بستر در کانال واگرا با نسبت بازشدگی مذکور باعث کاهش طول پرش به مقدار ۱۲ درصد و در کانال منشوری به



شکل ۴- پلان پرش نوع s و تمایل خطوط جریان به یک جهت

Fig.4- Plan s type jump and the tendency of the flow lines in one direction.



شکل ۵- مقایسه تغییرات طول پرش در کانال واگرای زبر با کانال واگرای صاف و کانال منشوری زبر

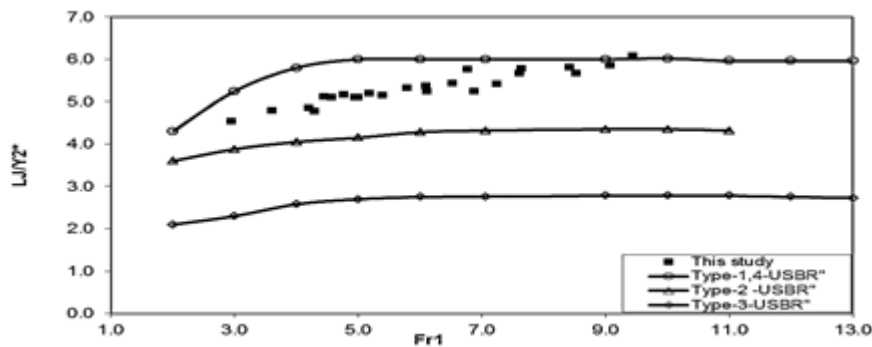
Fig.5- Comparison of jump length changes in rough divergent channel with smooth divergent channel and rough prismatic channel

$$S^* = \frac{L_j^* - L_{jBR}}{L_j} \times 100 \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

جدول ۲- مقایسه درصد تغییرات طول پرش نسبت به پرش کلاسیک

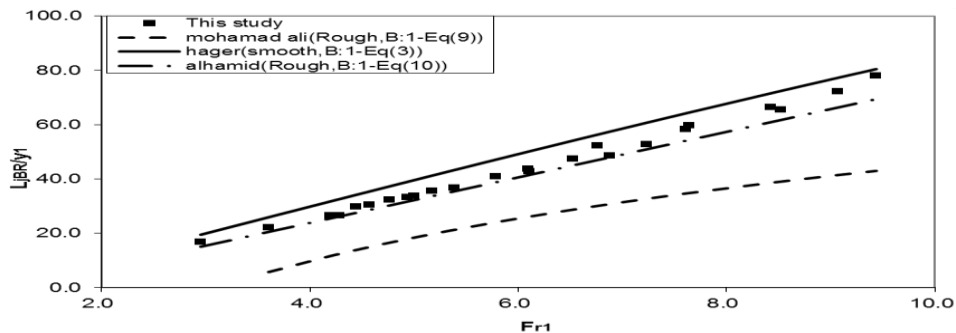
Table 2. Comparison of the percentage of jump length changes compared to the classic jump

% S*	% S*	S*	% S*
(مقطع واگرای ناگهانی و بستر صاف)	(مقطع واگرای ناگهانی و بستر صاف)	(مقطع منشوری و بستر زبر)	(مقطع واگرای ناگهانی و بستر زبر)
۳۱٪ افزایش	۸٪ افزایش	۱۸٪ کاهش	۱۲٪ کاهش



شکل ۶- مقایسه طول پرش در حوضچه واگرای ناگهانی زبر با حوضچه های USBR

Figure 6. Comparison of jump lengths in the abrupt divergent basin with USBR basins



شکل ۷- تغییرات طول بی بعد پرش هیدرولیکی در برابر عدد فرود اولیه

Fig. 7- Changes in hydraulic jump length

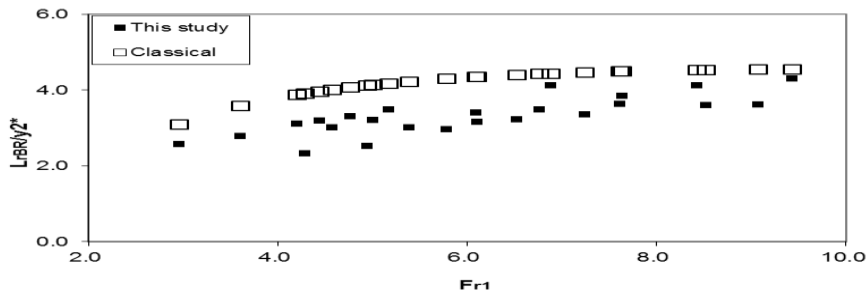
در جدول ۳، مقایسه درصد کاهش طول غلتاب با حضور زبری در کانالهای واگرا و منشوری نسبت به پرش کلاسیک نشان داده شده است.

ضرائب روابط ۱۳، ۱۴ و ۱۵ برای این مطالعه در جدول ۴ نشان داده شده است. مقدار ضریب b_0 تقریباً مشابه مقادیر بدست آمده توسط دیگر محققین می باشد اما تفاوت زیاد بین مقادیر a و a_0 این مطالعه و دیگر محققین به علت وابستگی این ضرائب به نسبت اعماق مزدوج است که در کانالهای واگرای ناگهانی این نسبت کاهش چشمگیری نسبت به پرش کلاسیک دارد (طبق مطالعات ۵۳ درصد کاهش دارد) و همین امر باعث شده که مقدار این ضرائب دو برابر مقدار متناظرشان در کانال منشوری گردد.

در شکل ۱۰ نسبت طول غلتاب به طول پرش در پرش کانال واگرا با بستر زبر و پرش کلاسیک نشان داده شده است. در پرش کلاسیک طول غلتاب حدود ۷۰ درصد طول پرش می باشد. این نسبت برای پرش در مقطع واگرای زبر و پرش در مقطع منشوری زبر به ترتیب دارای مقادیر متوسط ۶۱ درصد و ۳۱ درصد می باشد. این نسبت بیانگر کاهش طول غلتاب و طول پرش نسبت به پرش کلاسیک است اما واگرایی مقطع بدلیل افزایش طول پرش و همچنین عدم تقارن پرش تاثیر حضور زبری را نسبت به کانال منشوری کاهش می دهد. همچنین این نسبت مستقل از عدد فرود اولیه بوده و فقط به میزان واگرایی و جنس کف کانال وابسته است.

درباره طول غلتاب، پرش در کانال منشوری (نسبت بازشدگی یک) متقارن می باشد. با ایجاد واگرایی ناگهانی این تقارن از بین رفته که این عدم تقارن به دو عامل فاصله پنجه پرش تا محل تغییر مقطع $X1$ (نشان داده شده در شکل ۲) و نسبت بازشدگی وابسته است. کاهش هریک از عوامل مذکور و یا هر دو باعث نامتقارن تر شدن پرش خواهد شد. در این مطالعه به منظور ایجاد پرش S که بیشترین تاثیر را در استهلاک انرژی جنبشی نسبت به دیگر انواع پرش واگرای ناگهانی دارد، لازم است پنجه پرش در محل تغییر مقطع رخ دهد بنابراین مقدار $X1$ برابر صفر بوده و همچنین هرچه نسبت بازشدگی کمتر باشد پرش قویتر با راندمان بیشتر تشکیل خواهد شد. بنابراین پرش ایجاد شده در تمام آزمایشات، پرش نامتقارن بوده و با توجه به جهت پرش که کاملاً تصادفی می باشد طول غلتاب کوتاهتر اندازه گیری شد. در شکل ۸ طول غلتاب در پرش واگرای ناگهانی زبر با مقدار متناظر آن در پرش کلاسیک مورد مقایسه قرار گرفته که این مقایسه بیانگر کاهش ۲۱ درصدی طول غلتاب می باشد.

به منظور بررسی اثر زبری بر طول غلتاب در مقاطع واگرای ناگهانی و مقاطع منشوری، تغییرات طول بی بعد شده غلتاب را نسبت به عدد فرود ورودی در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، زبری در کاهش طول غلتاب تاثیر داشته اما در کانال واگرا مقدار این کاهش نسبت به کانال منشوری کمتر می باشد. نامتقارن بودن پرش باعث تمایل بخشی از گرداب ها در جهت جریان خواهد شد لذا زبری فقط بر بخشی از گرداب ها اثرگذار خواهد بود.



شکل ۸- تغییرات طول بی بعد غلتاب کوتاهتر در پرش واگرای ناگهانی زبر در برابر عدد فرود اولیه

Fig.8- Changes in the dimensionless length of the shorter concentration in the sudden abrupt rough jump

جدول ۳-مقایسه درصد کاهش طول غلتاب با حضور زبری در کانالهای واگرا و منشوری نسبت به پرش کلاسیک

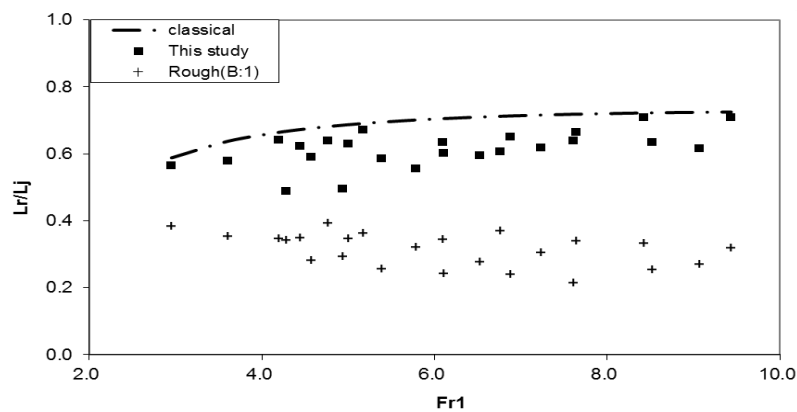
Table 3. Comparison of percentage reduction in concentration length with the presence of roughness in divergent and prismatic channels compared to classical jump

آزمایشگاهی (مقطع واگرای ناگهانی و بستر زبر)	هاگرا (رابطه ۱۴) مقطع منشوری و بستر زبر	هاگرا (رابطه ۱۵) مقطع منشوری و بستر زبر	کارولو و همکاران (رابطه ۱۳) مقطع منشوری و بستر زبر
% ۲۲	% ۶۱/۴	% ۶۲/۶	% ۳۸/۲

جدول ۴- مقادیر ضرایب معادلات (۱۳، ۱۴ و ۱۵)

Table 4. Equation coefficient values (13, 14 and 15)

b_0	a_0	a	اندازه زبری K_s (cm)	محقق
۵/۹	۲/۲۵	۴/۵۳	۰/۳۲	هافس و فلک (۱۹۸۴) - کانال منشوری
۶/۰	۲/۲۳	۴/۶۶	۰/۴۹	
۴/۹۲	۲/۰	۴/۰۶	۰/۶۱	
۴/۷۹	۲/۰۱	۴/۰۷	۱/۰۴	
۵/۴۴	۲/۲۲	۴/۴۳	۰/۶۴	
۵/۰۲	۲/۱۵	۴/۲۶	۰/۴۶	Carolo et al., 2007 - کانال منشوری
۴/۶۷	۱/۹۸	۳/۹۲	۰/۸۲	
۴/۱۶	۱/۹۴	۳/۸۶	۱/۴۶	
۵/۷۳	۲/۰۴	۴/۱۲	صاف	
۵/۲۹	۴/۷۹	۹/۵۲	۳/۲	تحقیق حاضر کانال واگرای ناگهانی



شکل ۱۰. نسبت طول پرش به طول غلتاب در برابر عدد فرود

Fig.10- The ratio of jump length to concentration length

پرش هیدرولیکی با مقطع واگرای ناگهانی و بستر زیر راندمان پرش را نسبت به پرش کلاسیک به میزان ۲۵ درصد و نسبت به پرش واگرای صاف تقریباً ۸ درصد افزایش خواهد داد. که این خود نشان دهنده تاثیر بیشتر واگرایی مقطع در افزایش راندمان نسبت به حضور زبری می باشد.

۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با مطالعه پرش هیدرولیکی بر بستر زیر در مقطع واگرای ناگهانی با نسبت بازشدگی ۰/۳۳ نتایج زیر حاصل شد:

زبری بستر طول پرش در کانال واگرای ناگهانی را نسبت به پرش کلاسیک ۱۲ درصد و نسبت به پرش واگرا ولی بستر صاف ۲۰ درصد کاهش می دهد.

پرش در حوضچه واگرای ناگهانی زیر در اعداد فرود پایین مشابه USBR-Type II بوده اما با افزایش عدد فرود تاثیر خود را در کاهش طول پرش از دست داده و مشابه حوضچه USBR-Type I عمل می کند.

پرش هیدرولیکی در مقطع واگرای ناگهانی زیر طول غلتاب کوتاهتر (طول غلتاب در جهت جریان) را ۲۲ درصد نسبت به پرش کلاسیک کاهش می دهد.

References:

- Abdulmatin, M., Rabiqul hasan, M. and Ashrafu Islam, M. 2008. "Experimental On Hydraulic Jump in Sudden Expansion in a Sloping Rectangular Channel". *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 36(65-77).
- Alhamid, A.A. 2004. S-jump characteristics on sloping basins. *Journal of Hydraulic research*.
- Alhamid, A.A. 1994. Effective roughness on horizontal rectangular stilling basins. *Transaction on Ecology and the Environment*, Vol. 8 (<http://www.witpress.com>, ISSN 1743-3541)
- Allahdaddy K, Kazemianzadeh A., Shafei Bajestan M., 2008. Experimental Investigation of the Influence of Roughness Height on the Concentrated Depth Ratio and Length of Hydraulic Jump Rolling in Relaxation Pools, 3rd Iran Water Resources Management Conference, Tabriz University, Iran
- Bahrami, H., Ghomeshi, M., Kashefi por, S., Salehi Neyshabouri, S. Investigation of characteristics of density current because of regime changes. *Journal of Marine Science and Technology*, 2017; 16(1): 112-121.
- Boroujerdi, G., kamanbedast, A. Investigation of porosity of Hexapod materials on scouring in permeable spills. *Journal of Marine Science and Technology*, 2020; 18(4): 49-61.
- Carolo, F.G., Ferro, V., and Pam Pallone, V. 2007. Hydraulic Jumps on rough beds. *J. of Hydraulic Engrg., ASCE*, 133 (9): 989-999. DOI: 10.1061/ (ASCE) 0733-9429 (2007) 133: 9(989).
- Ead, S. A., Rajaratnam, N. 2002. Hydraulic Jumps on corrugated Beds. *Journal of hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 128, No. 7, PP. 656-663. DOI: 10.1061/ (ASCE) 0733-9429 (2002) 128:7 (656).
- Hosseini S. M., Abrishami J. 2003. *Open Channel Hydraulics*. Third Edition. Imam Reza University press. Mashhad, Iran, P 613
- Hager, W. H. and Bremen, R. 1989. Classical Hydraulic Jump: Sequent Depths Ratio. *Journal of Hydraulic Research IAHR*, Vol. 27, No. 5, PP. 566-585.
- Hager, w, Bremen, R. 1993. T-jump in abruptly expanding channel. *Journal of Hydraulic research*.
- Herbrand, K. 1973. The Spatial Hydraulic Jump. *Journal of Hydraulic Research*. Pages 205-218
- Hager W.H., Bermen R. and Kawagoshi N. 1990. Classic Hydraulic Jump: Length of Roller. *J. Hydraul. Res.* Pages 591-608
- Izadjoo F., Shafei Bajestan M., Bina M. 2005. Hydraulic Jump Characteristics on a Trapezoidal Corrugated Bed. *The scientific journal of agriculture (SJA)*. Page(s) 107 To 122.
- Izadjoo F., Shafei Bajestan M. 2007. Corrugated Bed Hydraulic Jump Stilling Basin. *Journal of Applied Sciences*
- Kazemianzadeh A., Shafei Bajestan M. 2008. Experimental study of the effect of roughness arrangement on hydraulic jump characteristics in stilling basin, 3rd Iran Water Resources Management Conference, Tabriz University, Iran
- Matin M.A., Negm A.M. El-Said A.A, and Alhamid A.A. 1997. Prediction of Sequent Depth Ratio of Free Hydraulic Jump in Abruptly enlarged Channels. *Egyptian Journal for Engineering Sciences & Technology*. Pages 31-36.
- Mohamed Ali, H. S. 1991. Effect of Roughened-Bed Stilling Basin on Length of Rectangular Hydraulic Jump. *Journal of hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 117, No. 1, PP. 83-93.
- Peterka A.J. 1958. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipaters*. Engineering Monograph NO. 25. V. S. Bureau of Reclamation, Denver
- Rajaratnam N. 1967. Hydraulic Jumps. *Advances in Hydro Science*. Pages 197-280
- Rajaratnam N. 1968. Hydraulic Jump on Rough Bed. *Transactions of the Engineering Institute of Canada*. Pages 1-8
- Rezaul,hasan, M, Abdulmatin, M. 2009. Experimental Study for Sequent Depth Ratio of Hydraulic Jump in Horizontal Expanding Channel. *Journal of Civil Engineering (IEB)*, 37(1)-1-9.
- Shafei Bajestan M., Neisi K. 2003. Effect Shape of Bed Roughness on Hydraulic Jump Length in Rectangular Channels, *Iranian Hydraulic Association*. Page 29-40
- Shafei Bajestan M., Neisi K. 2004. Effect Shape of Roughness on the Sequent Depth Ratio of Hydraulic Jump. *Water and Soil Science Journal. Tabriz University, Iran*. Pages 165-176



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



Determine the effect of roughness on hydraulic jump characteristics in divergent stilling basin

Mohammad Hosein Noralah Dezfooli^{1,2}, Amir Abbas Kamanbedast^{2*}, Alireza Masjedi²,
Mohammad Heidarnejad², Mohammad Hosein Purmohammadi³

1. Department of Water Science Engineering, Khuzestan Science and Research Campus, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2. Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

3. Department of Water Science Engineering, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

* Corresponding Author E-mail: ka57_amir@yahoo.com

Received: 20 February 2020

Revised: 7 June 2020

Accepted: 30 May 2020

DOI: 10.22113/JMST.2020.221765.2356

Abstract

One of the measures to control the hydraulic jump at the downstream of hydraulic structures and to provide required sequent depth is to use a stilling basin with sudden contraction. Previous studies have shown that in this basin the jump length increases compare to the classical jump. On the other hand, it has been shown that roughening the bed is a measure that can be used to decrease the jump length. Therefore, it can bring a question that by roughening the bed of sudden contraction stilling basin how much can decrease the jump length? Therefore, in this study the effect of roughness on jump length at the mentioned stilling basin has been investigated. The tests have performed in a flume of 12-meter-long, 0.8-meter-wide and 0.7-meter height. The contraction ratio was 0.33 and the Froude number ranged between 2 to 10. The results have shown that the roughness can decrease the jump length up to 31% compare to the classic jump and can decrease up to 12% compare to the smooth bed of sudden contraction stilling basin. The jump length is equal to the USBR type II. It was found that the roughness can decrease the roller jump up to 20 percent compare to the sudden contraction of smooth bed.

Keywords: hydraulic jump, sudden contraction, jump length, stilling basin, roughness

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

