

تأثیر بستر زیر نیم‌استوانه‌ای بر خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش مستطیلی واگرا

اکرم عباسپور^{۱*}، داود فرسادی‌زاده^۲، محمدرضا عبدیان رکنی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۲۰

چکیده

در این تحقیق مشخصات پرش هیدرولیکی روی بستر زیر نیم‌استوانه‌ای در حوضچه آرامش با دیواره واگرا بصورت آزمایشگاهی بررسی شد. زبری‌های نیم‌استوانه‌ای با ابعاد ۱/۵ و ۲/۵ سانی‌متری در حوضچه‌هایی با دیواره‌های واگرا با زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه و هر کدام از این حالت‌ها با ۶ عدد فرود (دبی) مختلف آزمایش شده است. در مجموع ۲۰۰ آزمایش در محدوده اعداد فرود ۵ تا ۸ انجام شد. مقدار کاهش نسبی عمق مزدوج پرش به طور متوسط برای زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه به ترتیب برابر ۱۰/۵، ۱۷/۷، ۲۲، ۲۶ و ۲۶/۲ درصد بدست آمد. میانگین کاهش طول نسبی پرش برای زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه با بستر زیر به ترتیب برابر ۴۷/۹، ۵۷/۴، ۵۹/۹، ۶۵/۹ و ۶۸/۲ درصد بدست آمد و در بهترین حالت (C₂.2D) کاهش طول نسبی تا ۷۵ درصد نیز رسیده است. البته واگرایی حوضچه به تنهایی و بدون اعمال زبری نیز تأثیر بسیار زیادی بر کاهش طول نسبی پرش هیدرولیکی دارد و کاهش طول بین ۳۷ تا ۴۷ درصد می‌باشد این کاهش با افزایش زاویه واگرایی حوضچه رابطه مستقیم دارد.

واژه‌های کلیدی: پرش هیدرولیکی، حوضچه آرامش واگرا، زبری نیم‌استوانه‌ای، طول پرش عمق مزدوج

مقدمه

می‌دهد بستر زیر در کاهش عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی موثر می‌باشد.

حوضچه‌های آرامش واگرا با مقطع مستطیلی یک نوع از حوضچه‌های آرامش می‌باشد که به دلیل عدم نیاز به استفاده از سازه تبدیل در ابتدا و انتهای آن، در صورتی که از نظر نسبت عمق ثانویه، طول پرش و افت نسبی انرژی، قابل رقابت با حوضچه‌های کلاسیک باشند، جایگزین مناسبی برای این نوع حوضچه‌ها خواهند بود (امید و اسمعیلی ورکی ۱۳۸۴). با توجه به اینکه در مورد مقاطع مستطیلی واگرا با بستر زیر تحقیقی گزارش نشده است لذا اقدام به انجام این تحقیق شد.

محققین زیادی در زمینه پرش هیدرولیکی کلاسیک و پرش روی بستر زیر تحقیقات خود را انجام داده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به سفرانز راجاراتنام، هاگر و برمن اشاره کرد (Safranez., 1927; Rajaratnam., 1976; Hager and Bremen., 1989).

عمق ثانویه پرش هیدرولیکی کلاسیک y_2^* به ازای عمق فوق بحرانی y_1 و سرعت اولیه u_1 از رابطه بلانگر (رابطه ۱) بدست می‌آید.

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

در این رابطه $Fr_1 = u_1 / \sqrt{gy_1}$ عدد فرود در بالادست و g شتاب

معمولاً در انتهای سازه‌هایی نظیر سرریز سدها، تندآب‌ها، آبشارها و دریچه‌ها، به دلیل سرعت زیاد جریان، نیاز به سازه‌ای جهت استهلاک انرژی جریان و کاهش سرعت آن به منظور جلوگیری از فرسایش و حفاظت از تاسیسات پایین دست می‌باشد. یکی از رایج‌ترین سازه‌های مستهلک کننده انرژی، حوضچه‌های آرامش می‌باشد که در آن‌ها با شکل‌گیری پرش هیدرولیکی و عبور جریان از رژیم فوق بحرانی به زیربحرانی، انرژی جریان مستهلک می‌شود. برای کاهش عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی و همچنین افزایش افت انرژی در پرش هیدرولیکی ممکن است، یکسری دیواره یا آبپایه در طول پرش یا از یک سری بلوک‌های بتنی استفاده شود (Vischer and Hager, 1995). بررسی محققین نشان می‌دهد که دیواره واگرای حوضچه با بستر صاف، باعث کاهش نسبت اعماق مزدوج و طول نسبی گرداب پرش می‌شود. همچنین مطالعات اخیر نشان

۱- دانشیار رشته سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۲- استاد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

۳- کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

* نویسنده مسئول: akabbaspour@yahoo.com

© نویسنده مسئول:

برای عمق ثانویه پرش ارایه نمودند. نتایج نشان داد که رابطه ارایه شده با داده‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی دارد. مقایسه پارامترهای مهم پرش هیدرولیکی از جمله عمق و طول پرش و افت انرژی در حوضچه با دیواره واگرا و شیب معکوس با پرش کلاسیک نشان می‌دهد که با افزایش زاویه شیب کف و دیواره عمق و طول نسبی پرش کاهش یافته و افت انرژی افزایش می‌یابد. EsmailiVaraki et al., (2014).

در تحقیق حاضر به منظور بررسی توأم تأثیر زبری بستر و واگرایی دیواره حوضچه آرامش بر خصوصیات پرش هیدرولیکی در مقطع مستطیلی، آزمایش‌هایی بر روی مدل‌های مختلف آزمایشگاهی صورت گرفت. در این تحقیق آزمایش‌ها با در نظر گرفتن متغیرهایی مانند دبی، عمق اولیه و ثانویه پرش، طول پرش، طول غلطان و عرض‌های مقطع واگرا در محل ایجاد اعماق اولیه و ثانویه انجام شد. با روش تحلیل ابعادی پارامترهای بدون بعد موثر بر شرایط پرش هیدرولیکی در مقاطع واگرا با زبری بستر مختلف مشخص، و سپس روابط بین عوامل و پارامترهای مورد نظر پرش هیدرولیکی از جمله طول پرش، اعماق مزدوج و انرژی تلف شده در پرش هیدرولیکی با متغیرهای بدون بعد بررسی گردید.

مواد و روش‌ها

داده‌های آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر شکل بستر زبر به صورت زبری‌های یکپارچه نیم استوانه‌ای روی شیب افقی با ۴ زاویه واگرایی مختلف حوضچه مورد استفاده قرار گرفت. آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک بر روی فلوم فلزی با مقطع مستطیلی به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۵ متر با شیب کف ثابت ۰/۰۰۲ انجام گرفت. دیواره‌های فلوم در فاصله ۲ متری از مخزن تامین آب، شفاف و از جنس شیشه است، به همین دلیل مدل آزمایشگاهی حوضچه آرامش با دیواره‌های واگرا در فاصله ۲ متری از مخزن و دریچه بالادست که امکان مشاهده پروفیل سطح آب و شرایط جریان وجود داشت، قرار گرفت. شکل ۱ فلوم آزمایشگاهی مورد نظر را نشان می‌دهد. کانال مجهز به دریچه تنظیم جریان در ابتدای ورودی کانال و سرریز لبه تیز مثلی با زاویه ۵۳ درجه برای اندازه‌گیری دبی جریان در خروجی فلوم است. برای اندازه‌گیری عمق اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی از دو سطح سنج اولتراسونیک با دقت ۰/۱ میلی‌متر که روی فلوم تعبیه شده، استفاده شد و داده‌ها در کامپیوتر ثبت شد (شکل ۱). پروفیل سطح آب در طول کانال توسط عمق سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر و در فواصل ۱۰-۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد.

بستر زبر از قطعات نیم‌استوانه‌ای از جنس EPS و به طول ۲۵ سانتی‌متر و سه ارتفاع زبری ۱/۵ و ۲/۵ و عرض ۳ و ۵ سانتی‌متر

ثقل زمین است (Vischer, and Hager., 1995).

معمولاً جهت تثبیت پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش از بلوک‌ها و آب پایه‌ها استفاده می‌شود. استفاده از اجزای زبر در حوضچه آرامش موجب افزایش کارایی حوضچه، کاهش عمق ثانویه و طول پرش می‌گردد. در مورد پرش هیدرولیکی روی بستر زبر مطالعات مفصلی توسط محققین انجام گرفته است (Vischer and Hager., 1995).

عباسپور و همکاران تأثیر بستر موج‌دار سینوسی شکل بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی در محدوده وسیع‌تری از شیب موج بستر (t/s) با ارتفاع نسبی موج t/y_1 در بازه ۰/۳۲ تا ۱/۶۷ و s/y_1 در بازه ۰/۸۵ تا ۳/۳۳ بررسی نمودند (Abbaspour et al., 2009). خصوصیات پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای با زبری‌های نواری مستطیلی توسط گوهری و فرهودی مورد مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج این تحقیق، با افزایش فاصله بین زبری‌ها عمق ثانویه پرش کاهش می‌یابد. (Gohari and Farhodi., 2009)

امید و اسمعیلی ورکی (۱۳۸۴) به دو صورت تئوری و آزمایشگاهی پرش هیدرولیکی در مقاطع دوزنقه‌ای واگرا را مورد بررسی قرار دادند، آن‌ها پژوهش خود را در مورد تأثیر توأم تغییرات شیب جانبی و واگرایی دیواره‌های حوضچه آرامش بر پرش هیدرولیکی انجام دادند. موحدان و دادمهر (۱۳۸۸) روی اثرات واگرایی ناگهانی و تدریجی مقطع مستطیلی بر مشخصات پرش هیدرولیکی تحقیقاتی را انجام دادند.

گردنوشهری و همکاران (۱۳۸۹) به بررسی آزمایشگاهی مشخصات پرش هیدرولیکی کنترل شده توسط آستانه لبه تیز در حوضچه‌های آرامش واگرا پرداختند. آن‌ها آستانه‌هایی با ارتفاع‌های مختلف و در موقعیت‌های متفاوت نسبت به پنجه پرش را در حوضچه‌هایی با زوایای واگرایی ۳، ۵ و ۹ درجه قرار دادند. کاشفپور و بختیاری پرش هیدرولیکی در حوضچه واگرایی تدریجی با زوایای واگرایی مختلف را بررسی کردند. در آزمایش‌های آن‌ها زوایای واگرایی ۵، ۱۲/۵، ۱۵، ۲۲/۵ و ۲۵ درجه برای حوضچه مورد استفاده قرار گرفتند. پس از انجام آزمایش‌های متعدد و مقایسه نتایج آن‌ها با یکدیگر، دریافته‌اند که عمق ثانویه پرش با افزایش زاویه واگرایی کاهش می‌یابد (Kashefpor and Bakhtiari., 2009). والیانی و کالی در مورد مومنتم خطی و زاویه‌ای پرش هیدرولیکی در کانال‌های واگرا تحقیق کردند (Valiani and Caleffi., 2011).

والیانی و کالی با در نظر گرفتن روابط مومنتم خطی و زاویه‌ای پرش هیدرولیکی در کانال‌های واگرا یک روش تحلیلی برای تعیین پروفیل سطح آب بدست آوردند، از این روش برای تعیین عمق و طول پرش نیز استفاده گردید (Valiani and Caleffi., 2013).

اسمعیلی ورکی و همکاران پرش هیدرولیکی روی حوضچه واگرا با شیب معکوس را بررسی کردند و یک رابطه براساس تئوری مومنتم

فاصله زبری‌ها، زاویه واگرایی حوضچه آرامش و عدد فرود بررسی شد. در هر آزمایش پس از نصب زبری بستر با زاویه واگرایی مورد نظر دبی لازم (۶ دبی مختلف) و عدد فرود مشخص با تنظیم ارتفاع آب مخزن برقرار گردید. سپس دریاچه پایین دست به آرامی بسته شد تا پرش به سمت بالادست حرکت کرده و به ابتدای حوضچه آرامش واگرا برسد. در همه آزمایش‌ها عمق اولیه جریان y_1 ، عمق ثانویه y_2 ، طول پرش L_j و عمق پایاب y_t ثبت شد.

ساخته شده‌اند. این زبری‌ها با فواصل مختلف سه تا پنج برابر قطر ($s=3D, 4D, 5D$) بر روی یک ورق PVC چسبانده شدند. هر کدام از این زبری‌ها با یک فاصله ثابت برای ۴ زاویه واگرایی مختلف (زوایای ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه) و نیز زاویه صفر درجه مورد آزمایش قرار گرفتند. مشخصات بستر استوانه‌ای شکل و اندازه‌های مختلف زبری در جدول ۱ نشان داده شده است. در تحقیق حاضر مدل آزمایشگاهی شامل ۲۰۰ آزمایش پرش هیدرولیکی انجام شد که متغیرهایی نظیر شکل زبری، اندازه زبری،



شکل ۱- نمایش فلوم آزمایشگاهی و بستر زیر نیم‌استوانه‌ای

در نهایت رابطه پارامترهای بی‌بعد را می‌توان به صورت رابطه ۵

$$\frac{y_2}{y_1} = \left(Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{r}{s}, \theta \right) = 0 \quad (5)$$

که پارامتر r/s نشان دهنده زبری بستر است و تاثیر زبری بر روی پرش هیدرولیکی را نشان می‌دهد. به طور مشابه طول پرش هیدرولیکی L_j با استفاده از تحلیل ابعادی به فرم رابطه ۶ است.

$$\frac{L_j}{y_1} = \left(Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{r}{s}, \theta \right) = 0 \quad (6)$$

نتایج و بحث

طول نسبی پرش

بررسی نتایج نشان داد که مقدار متوسط طول نسبی پرش (L_j/y_1^*) روی بستر صاف و حوضچه بدون واگرایی برابر ۵/۵۳ می‌باشد. این مقدار برای حوضچه‌های با بستر صاف و با زاویه واگرایی ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه به ترتیب برابر ۳/۴۴، ۳/۴۷، ۳/۰۷ و ۲/۹۴ بدست آمد. با این نتایج مشخص می‌شود که واگرایی حوضچه به تنهایی و بدون اعمال زبری تاثیر بسیار زیادی بر کاهش طول نسبی پرش هیدرولیکی داشته که این کاهش بین ۳۷ تا ۴۷ درصد است.

تحلیل ابعادی

مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبری تابعی از خصوصیات سیال، مشخصات فیزیکی بستر و شرایط هیدرولیکی جریان می‌باشد. پارامترهای موثر در پرش هیدرولیکی واگرا بر روی بستر زیر نیم استوانه‌ای را به صورت تابع ۲ می‌توان نشان داد:

$$f(\rho, \mu, u_1, y_1, y_2, B_1, B_2, g, \theta, L_j, s, r) = 0 \quad (2)$$

که در آن ρ جرم مخصوص آب، μ ویسکوزیته دینامیک، v_1 سرعت اولیه جریان قبل از پرش، g شتاب ثقل زمین، y_1 و y_2 عمق اولیه و ثانویه پرش، L_j طول پرش هیدرولیکی، θ زاویه واگرایی حوضچه آرامش، r ارتفاع زبری و s فاصله بین زبری‌ها می‌باشد، همچنین B_1 و B_2 عرض حوضچه در عمق‌های مزدوج هستند. با استفاده از روش با کینگهام تابع ۳ را می‌توان بدست آورد.

$$f_1 \left(Re, Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{y_2}{y_1}, \frac{L_j}{y_1}, \frac{r}{s}, \theta, \frac{B_1}{B_2}, \frac{r}{y_1}, \frac{B_1}{y_1}, \frac{B_2}{y_1} \right) = 0 \quad (3)$$

در رابطه فوق Fr_1 عدد فرود اولیه و Re عدد رینولدز جریان می‌باشد. با صرف نظر کردن از اثر لزوجت با توجه به عدد رینولدز بالا و ثابت بودن نسبت‌های $\frac{B_1}{y_1}$ ، $\frac{B_2}{y_1}$ و $\frac{r}{y_1}$ رابطه ۳ به صورت رابطه ۴ ساده می‌گردد.

$$f_2 \left(Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{y_2}{y_1}, \frac{L_j}{y_1}, \frac{r}{s}, \theta \right) = 0 \quad (4)$$

جدول ۱- مشخصات بسترهای نیم‌استوانه‌ای شکل

نام بستر	r(cm)	S(cm)	r/s	L(cm)
C1.2D	۱/۵	۶	۰/۲۵	۲۵
C1.3D	۱/۵	۹	۰/۱۶۷	۲۵
C1.4D	۱/۵	۱۲	۰/۱۲۵	۲۵
C2.2D	۲/۵	۱۰	۰/۲۵	۲۵
C2.3D	۲/۵	۱۵	۰/۱۶۷	۲۵
C2.4D	۲/۵	۲۰	۰/۱۲۵	۲۵

این کاهش با شکل‌های مختلف زبری و تغییر فاصله بین آن‌ها متفاوت می‌باشد.

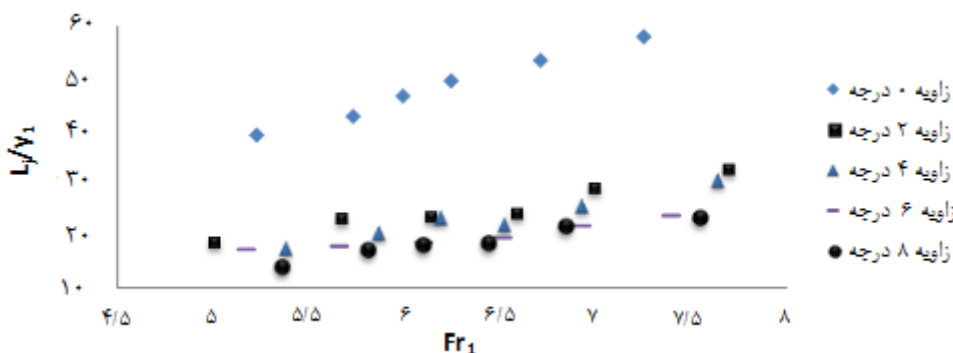
پارامتر کاهش طول نسبی پرش T توسط اید و راجاراتنام به شکل رابطه ۷ ارایه شده است. (Ead and Rajaratnam., 2002)

$$T = \frac{L_j^* - L_j}{L_j^*} \quad (7)$$

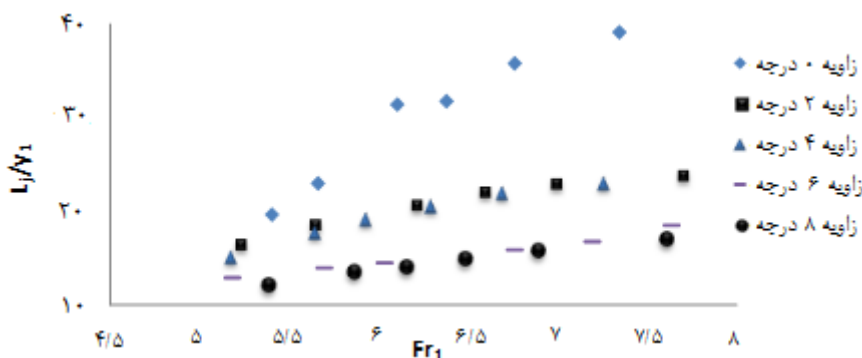
که در آن L_j طول پرش هیدرولیکی روی بستر زبر با دیواره واگرا، L_j^* طول پرش در بستر صاف (پرش کلاسیک) می‌باشند.

کاهش طول نسبی پرش با افزایش زاویه واگرایی حوضچه نسبت مستقیم دارد. با قرار دادن زبری در حوضچه آرامش بدون افزایش زاویه واگرایی حوضچه نیز کاهش طول نسبی پرش هیدرولیکی در محدوده اعداد ۲/۵۷ تا ۳/۴۱ است. یعنی میزان کاهش طول نسبی پرش هیدرولیکی برابر با ۴۰ تا ۵۴ درصد بدست آمد.

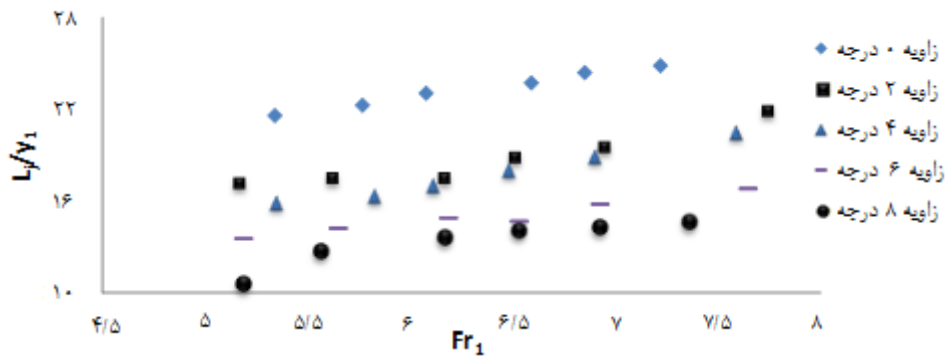
تاثیر واگرایی حوضچه آرامش بر طول نسبی پرش هیدرولیکی (L_j/y_1) به ازای اعداد فرود اولیه در شکل‌های ۲ تا ۴ به نشان داده شده است. در این شکل‌ها زبری‌ها و فاصله‌شان از هم ثابت در نظر گرفته شدند. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه واگرایی طول نسبی پرش هیدرولیکی کاهش می‌یابد و مقدار



شکل ۲- تغییرات طول نسبی پرش هیدرولیکی به ازای اعداد فرود اولیه در بستر صاف برای زوایای مختلف واگرایی



شکل ۳- تغییرات طول نسبی پرش هیدرولیکی به ازای اعداد فرود اولیه در بستر C1.3D برای زوایای مختلف واگرایی

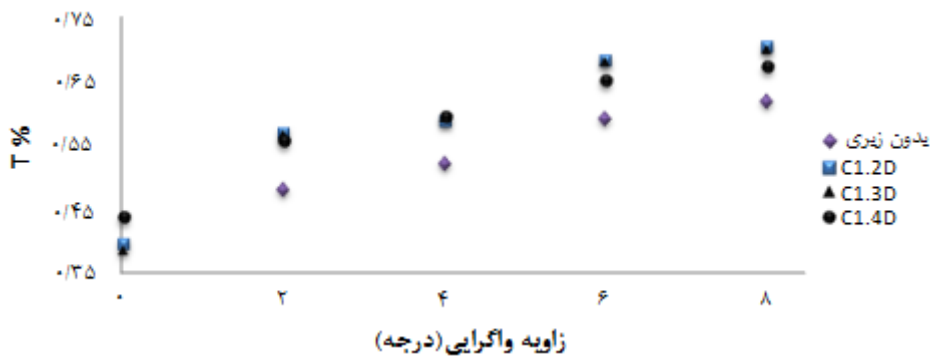


شکل ۴- تغییرات طول نسبی پرش هیدرولیکی به ازای اعداد فرود اولیه در بستر C₂.2D برای زوایای مختلف واگرایی

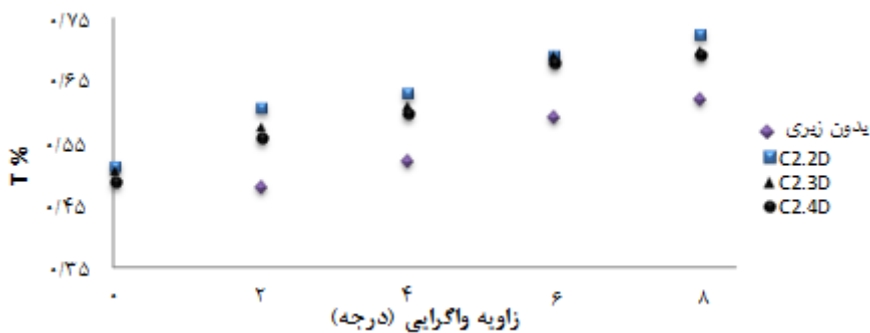
است. میانگین کاهش طول پرش هیدرولیکی برای زبری‌های نیم- استوانه‌ای ۶۰/۹ درصد بدست آمد، بنابراین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد واگرایی حوضچه هم‌زمان با زبری بستر باعث کاهش بیشتر طول پرش هیدرولیکی می‌شوند.

با بررسی تاثیر فواصل زبری روی طول پرش می‌توان نتیجه گرفت که برای فاصله 2D کاهش طول پرش بیش‌تر از فواصل 3D و 4D است.

درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی به‌طور متوسط برای هر زاویه واگرایی به ازای اعداد فرود مختلف بررسی و در شکل‌های ۵ و ۶ نمایش داده شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که طول پرش با قرار دادن زبری در حوضچه‌ها کاهش می‌یابد و این روند کاهش با واگرایی حوضچه آرامش افزایش یافت. در تحقیق حاضر میانگین کاهش طول پرش هیدرولیکی در زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه با بستر زبر به ترتیب برابر ۴۷/۹، ۵۷/۴، ۵۹/۹، ۶۵/۹ و ۶۸/۲ درصد بدست آمده است، در بهترین حالت (C₂.2D) تا ۷۵ درصد نیز رسیده



شکل ۵- درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی به ازای زوایای واگرایی برای بستر C₁ با فواصل مختلف

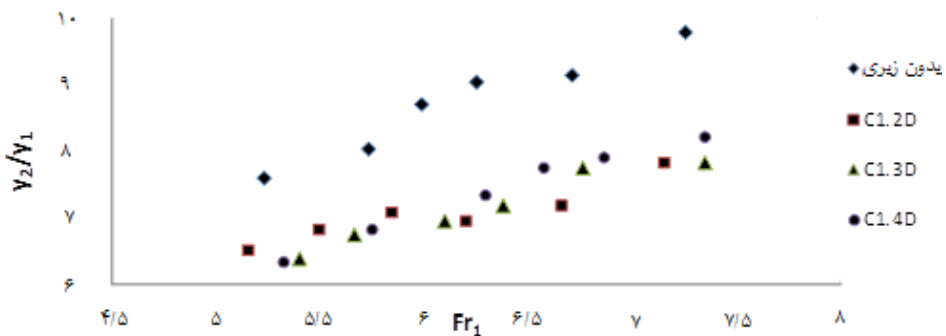


شکل ۶- درصد کاهش طول پرش هیدرولیکی به ازای زوایای واگرایی برای بستر C₂ با فواصل مختلف

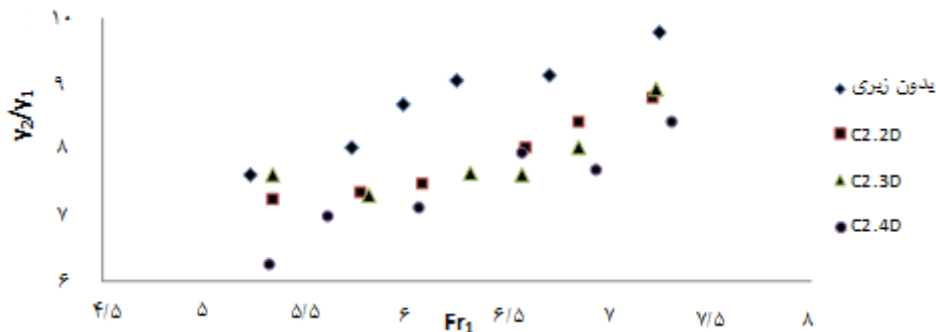
عملکرد بهتری در رابطه با کاهش عمق مزدوج نسبی نسبت به زبری $2/5$ سانتی‌متری داشت. می‌توان چنین استنباط کرد که با افزایش ارتفاع زبری (D) تعداد زبری‌ها در طول مشخصی از فلوم کاهش می‌یابد بنابراین کاهش عمق مزدوج کم‌تر است.

فواصل مختلف زبری $2D$ ، $3D$ و $4D$ تأثیر معنی‌داری بر کاهش عمق مزدوج نسبی نداشت. کاهش عمق نسبی پرش برای زبری‌های نیم‌استوانه‌ای به طور متوسط $24/5$ درصد است. همچنین کاهش عمق مزدوج برای زبری با ارتفاع $1/5$ سانتی‌متری به طور متوسط $21/1$ درصد و زبری با ارتفاع $2/5$ سانتی‌متری $20/2$ درصد می‌باشد.

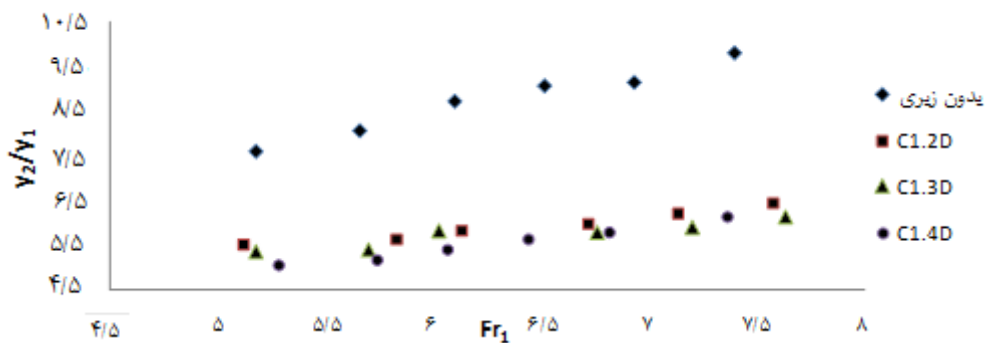
در شکل‌های ۷ تا ۱۰ تأثیر زبری با فواصل مختلف بر مقادیر عمق مزدوج نسبی در برابر اعداد فرود اولیه نشان داده شده است. با تغییر فاصله بین زبری‌ها عملکرد گرداب تشکیل شده بین آن‌ها تغییر کرده و نتایج متفاوتی از کاهش عمق مزدوج نسبی را نشان می‌دهد. زبری نیم‌استوانه‌ای $1/5$ سانتی‌متری به طور متوسط بیش‌ترین کاهش عمق مزدوج نسبی (در حدود ۲۶ درصد) داشت که این کاهش در بسترهای زیر با فواصل $3D$ و $4D$ رخ داده است. البته از شکل‌ها می‌توان استنباط نمود که با افزایش زاویه واگرایی برای یک زبری خاص روند کاهش عمق مزدوج نسبی شدت می‌گیرد. در بین بسترهای نیم‌استوانه‌ای، زبری با ارتفاع $1/5$ سانتی‌متر



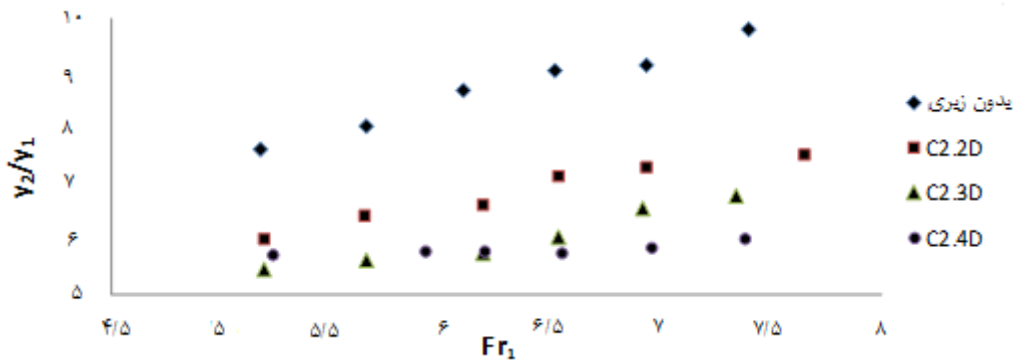
شکل ۷- تغییرات عمق مزدوج نسبی به‌ازای اعداد فرود اولیه در حوضچه با زاویه واگرایی صفر درجه و زبری C_1 با فواصل مختلف



شکل ۸- تغییرات عمق مزدوج نسبی به‌ازای اعداد فرود اولیه در حوضچه با زاویه واگرایی صفر درجه و زبری C_2 با فواصل مختلف



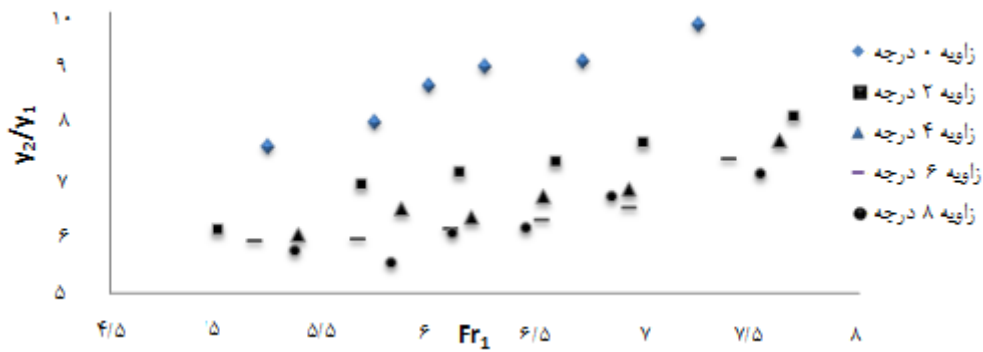
شکل ۹- تغییرات عمق مزدوج نسبی به‌ازای اعداد فرود اولیه در حوضچه با زاویه واگرایی ۶ درجه و زبری C_1 با فواصل مختلف



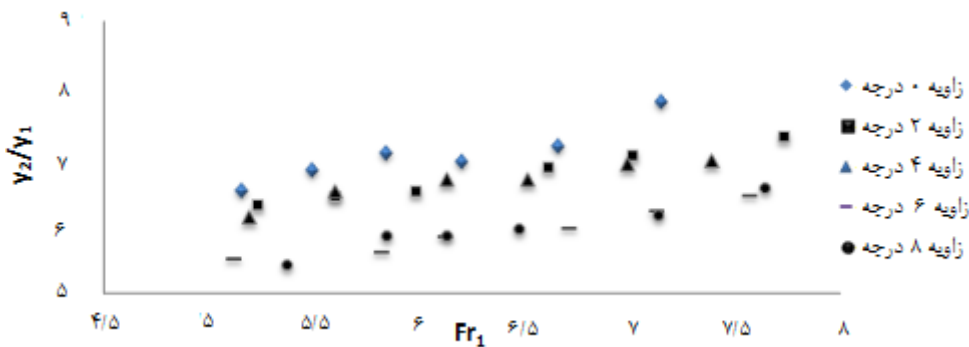
شکل ۱۰- تغییرات عمق مزدوج نسبی به ازای اعداد فرود اولیه در حوضچه با زاویه واگرایی ۶ درجه و زبری C₂ با فواصل مختلف

تا ۸ درجه تغییر محسوسی را نشان نداد. مقدار کاهش عمق مزدوج نسبی به طور متوسط برای زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه به ترتیب برابر ۱۰/۵، ۱۷/۷، ۲۲، ۲۶ و ۲۶/۲ درصد بدست آمد.

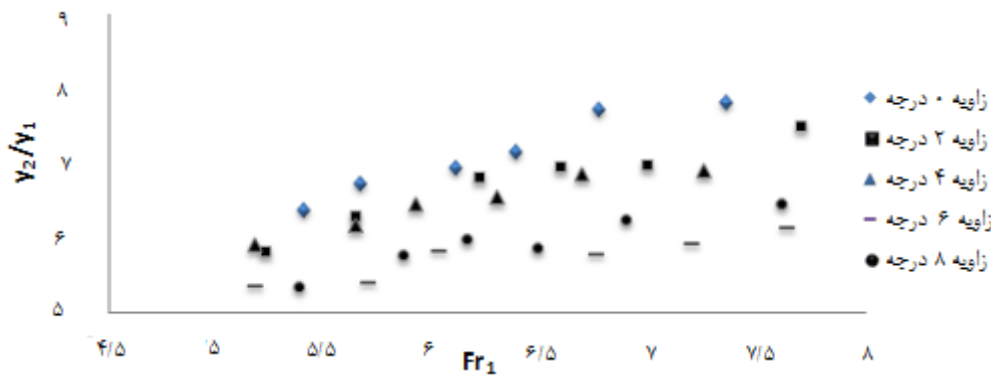
تأثیر تغییر زاویه واگرایی حوضچه برای زبری با شکل، ارتفاع و فاصله یکسان در شکل‌های ۱۱ تا ۱۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشخص است با افزایش زاویه واگرایی نسبت عمق مزدوج نسبی روند کاهشی پیدا می‌کند، هرچند این مقدار کاهشی از زاویه ۶



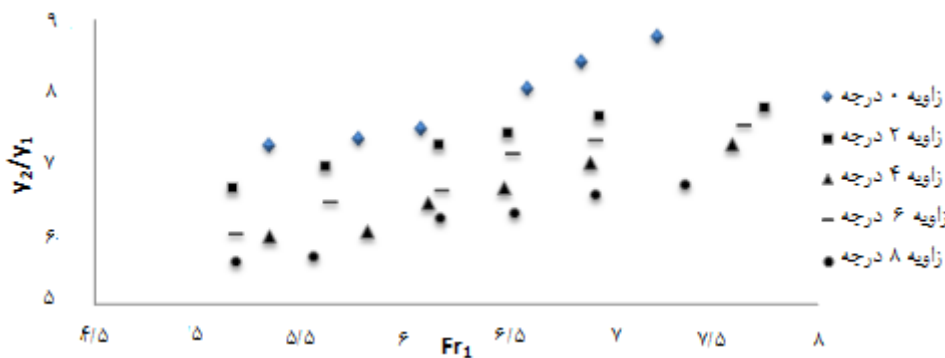
شکل ۱۱- تغییرات عمق مزدوج نسبی به ازای اعداد فرود اولیه در حالت حوضچه بدون زبری کف با زوایای واگرایی مختلف



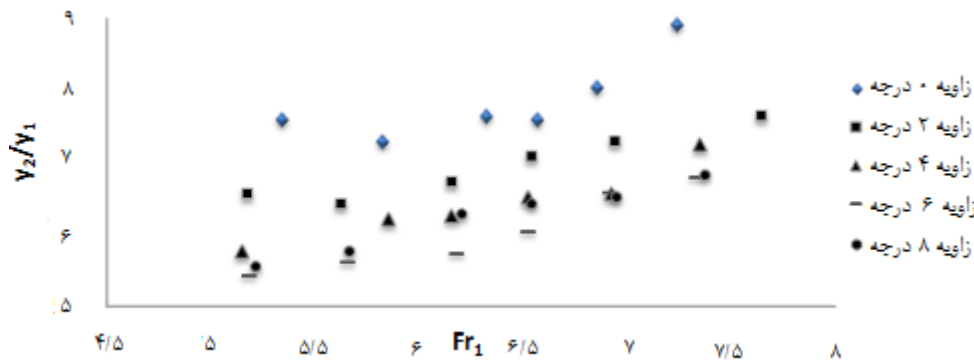
شکل ۱۲- تغییرات عمق مزدوج نسبی به ازای اعداد فرود اولیه در حالت حوضچه C_{1.2D} با زوایای واگرایی مختلف



شکل ۱۳- تغییرات عمق مزدوج نسبی به ازای اعداد فرود اولیه در حالت حوضچه 3D C1 با زوایای واگرایی مختلف



شکل ۱۴- تغییرات عمق مزدوج نسبی به ازای اعداد فرود اولیه در حالت حوضچه 2D C2 با زوایای واگرایی مختلف



شکل ۱۵- تغییرات عمق مزدوج نسبی به ازای اعداد فرود اولیه در حالت حوضچه 3D C2 با زوایای واگرایی مختلف

ثانویه در بستر زبر می‌باشند.

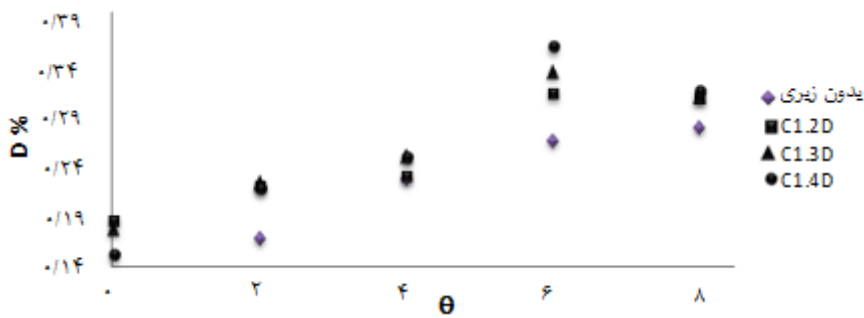
درصد کاهش نسبی عمق مزدوج پرش به ازای تغییرات اعداد فرود اولیه در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ نشان داده شده است. مقدار کاهش نسبی عمق مزدوج پرش به طور متوسط برای زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه به ترتیب برابر ۱۰/۵، ۱۷/۷، ۲۲، ۲۶ و ۲۶/۲ درصد به دست آمد.

کاهش نسبی عمق مزدوج پرش هیدرولیکی (D%)

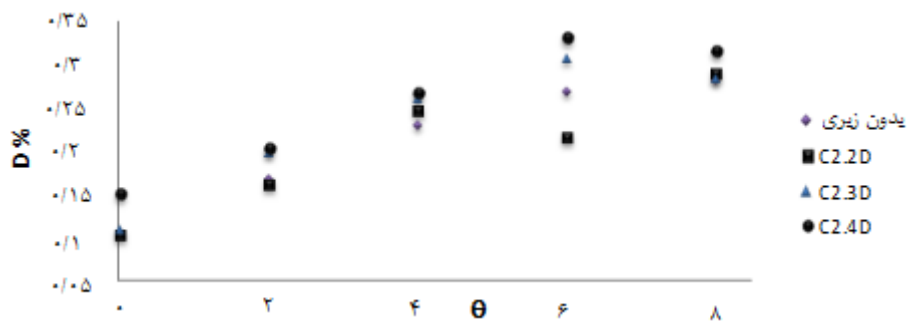
پارامتر کاهش عمق نسبی D توسط اید و راجاراتنام به شکل رابطه ۸ ارایه شده است. (Ead and Rajaratnam., 2002)

$$D = \frac{y_2^* - y_2}{y_2^*} \quad (۸)$$

در این رابطه y_2^* عمق ثانویه پرش در بستر صاف و y_2 عمق



شکل ۱۶- درصد کاهش نسبی عمق مزدوج پرش به ازای زوایای واگرایی اولیه برای زبری C₁ با فواصل مختلف



شکل ۱۷- درصد کاهش نسبی عمق مزدوج پرش به ازای زوایای واگرایی اولیه برای زبری C₂ با فواصل مختلف

به طور مشهودی کاسته شد و افت انرژی افزایش یافت. نتایج نشان داد که به ازای زوایای مختلف واگرایی میانگین کاهش طول پرش (T) ۴۷/۹ تا ۶۸/۲ درصد و میانگین کاهش عمق پرش (D) ۱۰/۵ تا ۲۶/۲ درصد است. برای هر بستر زبر مشخص افزایش زاویه واگرایی موجب کاهش عمق مزدوج و طول نسبی پرش شد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج اسمعیلی و ورکی و همکاران (که بر روی حوضچه دوزنقه‌ای واگرا با شیب معکوس انجام شد نشان داد که به ازای زاویه دیواره ۸ درجه طول و عمق پرش هیدرولیکی به ترتیب ۶۸ و ۲۶/۲ درصد نسبت به پرش کلاسیک کاهش یافت در تحقیق اسمعیلی ورکی این مقادیر ۴۷ و ۳۵ درصد گزارش شده است. می‌توان نتیجه گرفت تاثیر زبری روی کاهش طول پرش موثر است. تغییرات کلی پارامترهای پرش با افزایش زاویه همگرایی در دو تحقیق مشابه است. یعنی افزایش زاویه واگرایی موجب کاهش عمق مزدوج نسبی، طول پرش و افزایش افت انرژی شد. (EsmaeeliVaraki et al., 2014)

منابع

امید، م. ح. و اسمعیلی ورکی، م. ۱۳۸۴. مطالعه تئوری و آزمایشگاهی جهش هیدرولیکی واگرا در مقاطع دوزنقه‌ای شکل، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان، ۲: ۳۰-۱۷.

گرد نوشهری، ا.، امید، م. ح. و کوچک‌زاده، ص. ۱۳۸۹. اثر آستانه لبه

اتلاف انرژی

اتلاف انرژی در پرش هیدرولیکی E_L برابر با اختلاف انرژی مخصوص قبل و بعد از پرش هیدرولیکی E₂-E₁ می‌باشد. در این تحقیق اتلاف انرژی نسبی در بستر نیم‌استوانه‌ای شکل از رابطه ۹ تعیین گردید.

$$E_L = (y_1 + \frac{v_1^2}{2g}) - (y_2 + \frac{v_2^2}{2g}) \quad (9)$$

افت نسبی انرژی E_L/E₁ برای زوایای ۰، ۲، ۴، ۶ و ۸ درجه به ترتیب برابر ۶۰/۵، ۶۴/۸، ۶۶/۶، ۶۸/۹ و ۶۹/۳ درصد بدست آمد. بالاترین افت انرژی مربوط به بستر C_{1.2D} به ازای زاویه واگرایی ۸ درجه و عدد فرود ۷/۷ به دست آمد. در تحقیقات امید و اسمعیلی ورکی (۱۳۸۴) برای زاویه ۹ درجه و عدد فرود ۷/۵ میزان افت انرژی ۷۰ درصد می‌باشد و در تحقیق حاضر افت انرژی برای زاویه ۸ درجه و عدد فرود ۷/۵ در حدود ۸۲ درصد است.

نتیجه‌گیری

برای ارزیابی عملکرد حوضچه مستطیلی در زوایای مختلف واگرایی و زبری نیم‌استوانه‌ای با ارتفاع و فواصل مختلف از نتایج مدل فیزیکی حوضچه آرامش و روابط هیدرولیکی پرش استفاده گردید. در هر زاویه واگرایی با بکار بردن زبری عمق مزدوج و طول نسبی پرش

- jump; sequent depths, *Journal of Hydraulic Research*. 27.5: 565-585.
- Kashefpor, M and Bakhtiari, M. 2009. Hydraulic jump in a gradually expanding channel with different divergence angles, 33rd IAHR Congress. *Advances in the Fundamentals of Water Science and Engineering*, Vancouver.
- Rajaratnam, N. 1976. *Turbulent jets*. Elsevier Science, Amsterdam. The Netherlands.
- Safranez, K. 1927. Wechselsprung und die Energievernichtung des Wassers. *Bauingenieur*. 8.49: 898-905.
- Valiani, A and Caleffi, V. 2011. Linear and angular momentum conservation in hydraulic jump in diverging channels. *Advance Water Resources*. 34.2: 227-242.
- Vischer, D.L and Hager, W.H. 1995. Energy Dissipaters, *Hydraulic structure design manual IAHR*. 206.
- Valiani, A and Caleffi, V. 2013. Linear and angular momentum conservation for the hydraulic jump in converging channels. *Journal of Hydraulic Research*. 51.5: 601-607.
- پهن بر روی مشخصات جهش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش واگرا. ۴۱. ۱ : ۲۰-۳۱.
- موحدان، م و دادمهر، ر. ۱۳۸۸. اثرات واگرایی ناگهانی و تدریجی مقطع مستطیلی بر مشخصات جهش هیدرولیکی. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. ۳. ۱ : ۱۰۱-۱۱۳.
- Abbaspour, A., Hosseinzadeh Dalir, A., Farsadzadeh, D and Sadraddini, A.A. 2009. Effect of sinusoidal corrugated bed on hydraulic jump characteristics, *Journal of Hydro-environment Research*. 3: 109-117.
- Ead, S.A., Rajaratnam, N. 2002. Hydraulic jump on corrugated bed, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 128.7: 656-663.
- Esmaeili Varaki, M., Kasi, A., Farhoudi, J and Sen, D. 2014. Hydraulic jump, in a diverging channel with an adverse slope, *IJST, Transactions of Civil Engineering*. 38 .1: 111-121.
- Gohari, A and Farhoudi, J. 2009. The characteristics of hydraulic jump on rough bed stilling basins, 33rd IAHR Congress, 9 Aug. 2009. *Advances in the Fundamentals of Water Science and Engineering*, Vancouver.
- Hager, W.H and Bremen, R. 1989. *Classical hydraulic*

Effect of Semi Cylindrical Bed on Hydraulic Jump Characteristics in Diverging Stilling Basins

A. Abbaspour^{1*}, D.Farsadizadeh,² M.R, Abdian Rokni³

Received: May.06, 2016

Accepted: Jun.10, 2017

Abstract

In this study, the characteristics of the hydraulic jump on semi cylindrical rough bed a diverging stilling basin has investigated experimentally. The experiments have done with the walls diverging angles of 0, 2, 4, 6 and 8 degree for six different Froude numbers. Total of 200 tests were performed within the range of 5 to 8 Froude numbers. The relative depth reduction of jump for the angles of 0, 2, 4, 6 and 8 degrees have obtained 10.5, 17.7, 22, 26 and 26.2 percent respectively. The average reduction of length jump for the angles of 0, 2, 4, 6 and 8 degrees with the rough bed have obtained 47.9, 57.4, 59.9, 65.9, and 68.2 percent respectively and in the optimal case (C2.2D) the reduction of length jump is 75 percent. The divergence of a basin without roughness effect also has influenced on reducing the relative length of jump about 37 to 47 percent and the relative length of jump are directly related to the angle of a divergence basin.

Keywords: Diverging stilling basin, Hydraulic jump, Length of jump, Semi-cylindrical Roughness, Sequent depth,

1- Associate Professors, Department Water Engineering, University of Tabriz

2- Professors, Department Water Engineering, University of Tabriz

3- Msc of Water Engineering, University of Tabriz

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