

بررسی آزمایشگاهی تأثیر شکل بلوک‌های میانی حوضچه آرامش بر مشخصات پرش هیدرولیکی

• امیر مرادی‌نژاد

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج وزارت جهاد کشاورزی (نویسنده مسئول)

• امیر حمزه حقی‌آبی

گروه سازه‌های آبی دانشگاه لرستان

• عباس پارسایی

دانشجو دکتری دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: اردیبهشت ماه ۱۳۹۳ تاریخ پذیرش: خرداد ماه ۱۳۹۴

Email: amir_24619@yahoo.com

چکیده

در طراحی بهینه حوضچه آرامش برای کاهش طول و هزینه سازه از مستهلک‌کننده‌های مختلفی مانند بلوک کف و آب‌پایه در کف حوضچه و پای سرریز استفاده می‌شود تا پرش به پای سرریز نزدیکتر شود. در این مطالعه برای کاهش فاصله پنجه سرریز تا شروع پرش از مانع بلوک کف با ترکیب هفت شکل مختلف استفاده شد. در این آزمایش‌ها از سرریز اوجی با سه ارتفاع (۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر) و برای هر سرریز چهار شیب پایین دست (صفر، ۰/۱۰، ۰/۰۷ و ۰/۰۵) و برای هر شیب هفت مانع با شکل‌های مختلف و برای هر مانع شش دبی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در مجموع به کارگیری بلوک کف در حوضچه آرامش باعث کاهش عمق ثانویه، فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش، طول پرش و افزایش افت انرژی و بهبود خصوصیات هیدرولیکی پرش می‌شود. در بین شکل بلوک‌های کف، مانع کف به شکل ۷۹۰ بیشترین تأثیر را دارد. به طوری که طول فاصله پنجه سرریز تا شروع پرش را نسبت به حالت بدون مانع ۶۵ درصد کاهش داده است.

کلمات کلیدی: حوضچه آرامش، پرش هیدرولیکی، شکل بلوک کف

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 108 pp: 3-13

Investigation of the central block of hydraulic jump stilling basin characteristics

By: A. Moradinezhad, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) (Corresponding Author). A. H. Haghiabi, Lorestan University. A. Parsaee, Lorestan University.

In designing the stilling basin is trying to jump as close as possible to deal overflow, without affecting the flow of the weir is formed. In other words, to prevent the escape jump. For this purpose, the dissipation variety of water- Such as foam blocks and foam baths and foot spillway is used in sill. And thus reduced the length of the basin And is closer to the heel the spillway. In this study, to reduce the distance spillovers paws to start jumping from block foam blocks composed of 8 different forms were used. In these experiments, the spillway ogee with three heights (6, 5 and 4 cm) and for each spillway 4 slope (0/0 and 010/0 and 007/0 and 005/0) and for each slope 6 Dubai for Discharge 8 obstacles with different shapes were examined. The results showed that the total utilization of foam blocks in the stilling basin depth decreases, the distance between the top of spillway toe jump, the length jump and increase energy loss and improve the properties of hydraulic jump will be. In between shapes, the floor prevents the w90 is most effective. So that the spillway distance between the toe to jump start to a 65% reduction is unobstructed.

Keywords: stilling basin, hydraulic jump, the floor block form.

۱- مقدمه

طی هفتاد سال گذشته پدیده پرش هیدرولیکی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است و اطلاعات جامعی نیز منتشر شده است. هدف عمده این مطالعات شناخت بهتر مکانیزم پرش و ایجاد روابطی برای پیش‌بینی خصوصیات پرش نظیر طول پرش، عمق پایاب مورد نیاز، میزان استهلاک انرژی، در طول پرش بوده است. برآورد دقیق این خصوصیات کمک کرده است تا سازه‌های مستهلک کننده انرژی از نوع پرش هیدرولیکی اقتصادی تر و ایمن تر طراحی شوند. حوضچه‌های آرامش بستر مناسبی برای کنترل و مهار پرش-آبی و وقوع آن در یک موقعیت مکانی خاص می‌باشند. ممکن است دارای شکل هندسی متفاوت و یا حاوی ضمامم اضافی نظیر بلوک‌های کف و آستانه‌ها باشند که به عملکرد مؤثرشان کمک می‌کند. همچنین تاکنون تحقیقات متفاوتی به منظور کاهش طول پرش هیدرولیکی صورت گرفته است و روش‌های گوناگونی برای بهبود و افزایش کارایی پرش از سوی محققین مختلف پیشنهاد شده است که می‌توان به استفاده از بلوک‌های کف، آستانه انتهایی، پله‌های مثبت یا منفی، شیب دار کردن کف و افزایش عرض مقطع اشاره کرد. در حوضچه‌های آرامش به منظور کاهش طول پرش هیدرولیکی از بلوک‌ها و ایجاد موانع در برابر جریان استفاده می‌کنند که وجود مانع در مقابل جریان باعث جداسازی خطوط جریان و استهلاک بیشتر انرژی و افزایش تنش برشی و نیز افزایش نیروی درگ می‌شود. عامل دیگری که می‌تواند باعث کاهش ابعاد پرش هیدرولیکی گردد بدون آنکه کابوتاسیونی رخ دهد زبری‌های کف می‌باشد [۵ و ۴]. در ادامه برخی از تحقیقاتی که توسط محققین مختلف در این زمینه صورت گرفته است، بیان می‌شود. بلانگر (۱۸۲۸) برای عمق ثانویه جهش هیدرولیکی کلاسیک در ناحیه زیربحرانی فرمول نسبت عمقهای

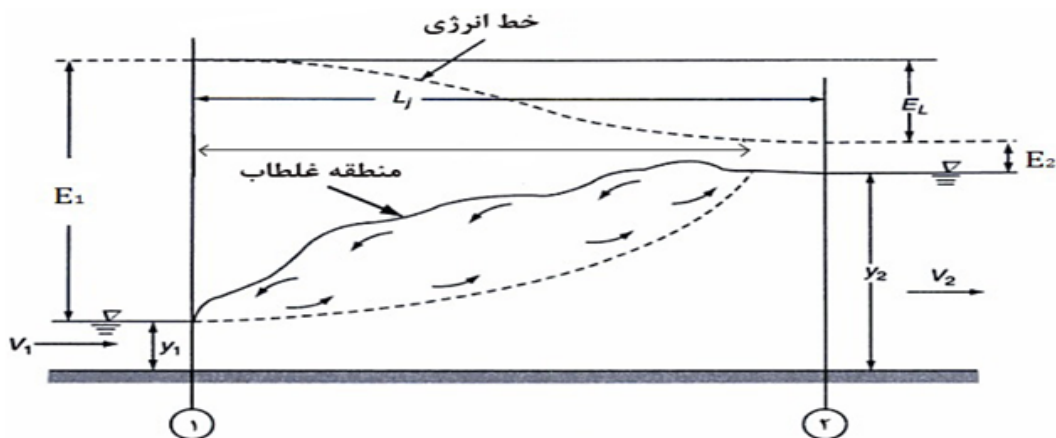
جهش را ارائه کرد [۵]. پوزی و هسینگ (۱۹۳۸) تاثیر شیب جانبی را بر طول جهش در حوضچه دوزنقه‌ای بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که کاهش شیب جانبی باعث کاهش طول جهش نسبت به جهش کلاسیک می‌شود [۱۲]. دیسکن (۱۹۶۱) رابطه‌ای تئوری برای نسبت عمق ثانویه در مقطع دوزنقه‌ای ارائه کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که با کاهش شیب جانبی، نسبت عمق ثانویه در مقطع دوزنقه‌ای در مقایسه با مقطع مستطیلی کاهش می‌یابد [۶]. [تحقیقات اولیه توسط راجاراتنام (۱۹۶۸) نشان داد که اگر بستر کانالی که پرش بر روی آن شکل می‌گیرد زبر باشد، عمق پایاب مورد نیاز برای تشکیل پرش می‌تواند بطور مشخصی کوچکتر از عمق مزدوج مشابه خود در بستر صاف باشد. وی پارامتری به نام زبری نسبی ($k=y_1$) تعریف کرد که در آن k ارتفاع معادل زبری و y_1 عمق جریان ورودی فوق بحرانی بر روی زبری‌ها است. وی نشان داد که طول غلتاب و طول پرش روی بستر زبر در مقایسه با همان پارامترها بر روی بستر صاف کاهش قابل توجهی دارند [۱۳ و ۱۴]. اید و راجاراتنام (۲۰۰۲) یک مطالعه آزمایشگاهی بر روی پرش آبی روی بستر موج دار 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. اگر D را بصورت پارامتر بی بعد عمق ($D = \frac{y_2 - y_1}{y_2}$) تعریف کنیم، در بازه مورد بررسی، D تقریباً برابر با ۰/۲۵ بدست آمده است [۸]. همچنین آن‌ها در سال (۲۰۰۷) نتیجه گرفتند که طول پرش در بستر زبر تقریباً نصف طول متناظر آن در بستر صاف است. آن‌ها دلیل کاهش طول جهش را افزایش تنش برشی بستر بر اثر هم کنش جریان فوق بحرانی با زبری‌های بستر توضیح دادند [۷]. [ایزدجو و شفاعی بجستان (۲۰۰۷) مطالعات خود را بر روی بسترهای دوزنقه‌ای نواری شکل انجام دادند.

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 تقریباً ۹ برابر بستر صاف آمد [۹]. شفافی بجزستان و نیسی (۲۰۰۹) به بررسی مشخصات جهش آبی در حضور بلوک‌های لوزی شکل در حوضچه آرامش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که طول جهش در مقایسه با حوضچه‌های USBR و SAF کمتر است. در این بررسی کاهش عمق ثانویه و طول جهش آبی در محدوده اعداد فرود ۴/۵ تا ۱۲ به ترتیب در حدود ۲۶٪ و ۴۰٪ گزارش شد [۱۵]. مطالعات انجام شده بر روی بستر حوضچه آرامش نشان می‌دهد که برای تعیین مناسب‌ترین و اقتصادی‌ترین شکل مانع‌های کف حوضچه و ابعاد و فاصله آن‌ها تحقیقاتی انجام نشده است. از این رو در این تحقیق بلوک‌های کف به صورت مانع‌هایی، که ایجاد زبری نمودند انتخاب گردیده و اثر شکل‌ها و نوع آنها بر روی مشخصات جهش آبی در محدوده اعداد فرود بین (۳-۵/۵) مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آن در پژوهش حاضر مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

۲- تئوری پرش آبی روی کف‌های نسبتاً افقی

جهش آبی از جریان‌های متغیر سریع است که انرژی فوق‌العاده آب در سرعت‌های فوق‌بحرانی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد [۳]. با توجه به شکل (۱) در جهش آبی جریان از فوق‌بحرانی به زیر بحرانی تغییر حالت می‌دهد. در نتیجه باعث کاهش انرژی جنبشی جریان و تبدیل انرژی مزبور به انرژی حرارتی می‌شود تا بدین ترتیب ضمن کاستن از انرژی فوق‌العاده جریان قبل از ورود به قسمت کف‌سازی شده آبراهه از خرابی‌های احتمالی جلوگیری شود. شکل (۱) نمائی از جهش آبی بر روی بستر صاف دیده می‌شود. بستر می‌تواند با مانع بلوک کف به شکل‌های مختلف و یا زبر باشد [۳ و ۲].

آن‌ها 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. همچنین نتیجه گرفتند که طول جهش کلاسیک بیش از دو برابر طول جهش در بستر زبر می‌باشد، و این طول بیشتر به فاصله تاج زبری‌ها بستگی دارد تا ارتفاع زبری‌ها [۱۰]. امید و همکاران (۲۰۰۷)، خصوصیات جهش هیدرولیکی واگرا در حوضچه آرامش دوزنقه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق نیز با بکارگیری اصول پیوستگی، انرژی و مومنتم و استفاده از فرضیات ساده شونده، روابطی برای نسبت عمق ثانویه به اولیه، طول نسبی جهش ارائه گردید [۱۱]. اید (۲۰۰۷) آزمایش‌های خود را بر روی سه بستر موج‌دار سینوسی، دوزنقه‌ای و منشوری انجام داد. او نتیجه گرفت زبری نسبی و شکل موج‌ها، تأثیر 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 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 کرد [۱۷]. ایلخانی پور (۱۳۸۷) با معرفی مدلی با نام مدل ایلخانی پور اعلام کرد مدل ایلخانی پور یک سد انحرافی جدید است که با تعبیه یک روزنه در بدنه سد و ترکیب جریان ورودی از روی سرریز اوجی با استاندارد USBR و جریان خروجی از روزنه، بدون استفاده از بلوک‌های حوضچه آرامش انرژی آب را تلف کرده و هم‌زمان عمل تخلیه رسوب و کاهش بار آبی روی تاج سرریز را موجب می‌شود. در این مطالعه تأثیر برخورد جریان خروجی از روزنه با جت آب ریزشی از روی دیواره سرریز و تغییر محل برخورد آن‌ها در فاصله جهش از دیواره سرریز، در دبی‌ها و عمق پایاب‌های مختلف تعیین گردید [۱]. گوهری و فرهودی (۲۰۰۹) آزمایش‌های خود را بر روی بسترهایی با زبری‌های



شکل (۱) جهش آبی روی بستر صاف

طراحی سرریز، قالب آن از چوب و در نهایت خود مدل نیز با استفاده از چوب ساخته و با روغن اندود و رنگ شد. در این آزمایش‌ها موانعی تک وجهی و دو وجهی با سه زاویه مختلف به شکل‌های (۷۹۰-۷۶۰-۷۴۵-۷۴۵-۷۴۵-۷۶۰-۷۹۰) و به ارتفاع و ضخامت یک سانتی متر و در مجموع از هفت نوع مانع استفاده شد و برای آستانه نیز مانعی با ارتفاع دو، طول یک و عرض هشت سانتی متر برابر عرض کانال در نظر گرفته شد که در کلیه آزمایش‌ها ثابت بود شکل (۴). ارتفاع تمام موانع یک سانتی متر و طول آن‌ها نیز به اندازه عرض فلوم بود. حوضچه بدون مانع نیز به عنوان یک واریانت در نظر گرفته شد و یکسری آزمایش روی آن انجام گرفت. در این پژوهش روش کار به این صورت بود که پس از کالیبره کردن دبی سنج و نصب سرریز و آستانه حوضچه، ابتدا مواد شوینده به آب اضافه تا تأثیر کشش سطحی از بین برود. مطابق شکل (۵) و (۶) آزمایش‌ها برای سرریز با سه ارتفاع (۶، ۵، ۴ سانتی متری) انجام گرفت. برای هر ارتفاع به ترتیب یکی از شیب‌ها (صفر، ۰/۱۰، ۰/۰۷، ۰/۰۵) انتخاب و برای هر شیب ۷ مانع و برای هر مانع با ۶ دبی (۲۱۰۰ و ۲۳۰۰ و ۲۵۰۰ و ۲۷۰۰ و ۲۹۰۰ و ۳۰۰۰ لیتر بر ساعت) آزمایش انجام شد. در مرحله بعد شیب تغییر و آزمایش‌ها برای تمام شیب‌ها تکرار شد. در نهایت ارتفاع سرریز تغییر و تمام مراحل تکرار می‌شد. در طول آزمایش عمق روی سرریز، عمق اولیه و ثانویه پرش، فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش، طول پرش و ارتفاع روی آستانه اندازه‌گیری شد. عمق اولیه و ثانویه جهش با استفاده از یک عمق سنج با دقت ± 0.1 میلی متر، فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش و طول جهش آبی و طول غلتاب بوسیله یک نوار متر منصوب در بدنه کانال اندازه‌گیری شد. آزمایش‌ها شامل سرریز با سه ارتفاع، ۴ شیب پایین دست، هشت مانع (کف بدون مانع نیز یک حالت حساب می‌شد) و ۶ دبی مجموعاً به تعداد ۵۷۶ آزمایش در محدوده اعداد فرود ۳ تا ۵/۵ انجام شد.

با استفاده از معادله مومنتم نسبت اعماق مزدوج روی کف نسبتاً افقی مستطیلی از رابطه (۱) به دست می‌آید. برای کانال‌ها غیرمستطیلی این نسبت از روابط و نمودارها به دست می‌آیند. طول پرش هیدرولیکی را می‌توان از رابطه تجربی (۲) بدست آورد.

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

$$L_j = 6(y_2 - y_1) \quad (2)$$

که در آن:

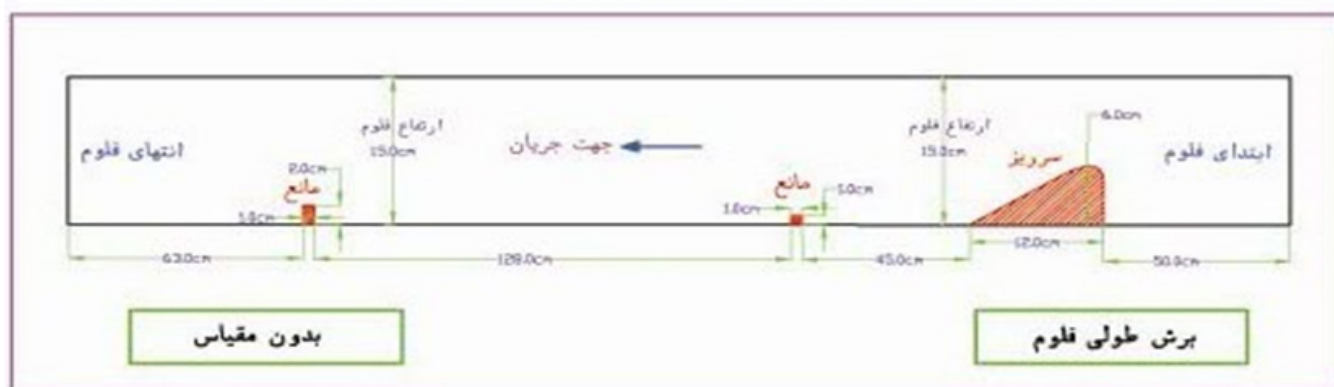
Fr_1 = عدد فرود در مقطع اولیه (جریان فوق بحرانی) که از فرمول (۳) بدست می‌آید:

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}} \quad (3)$$

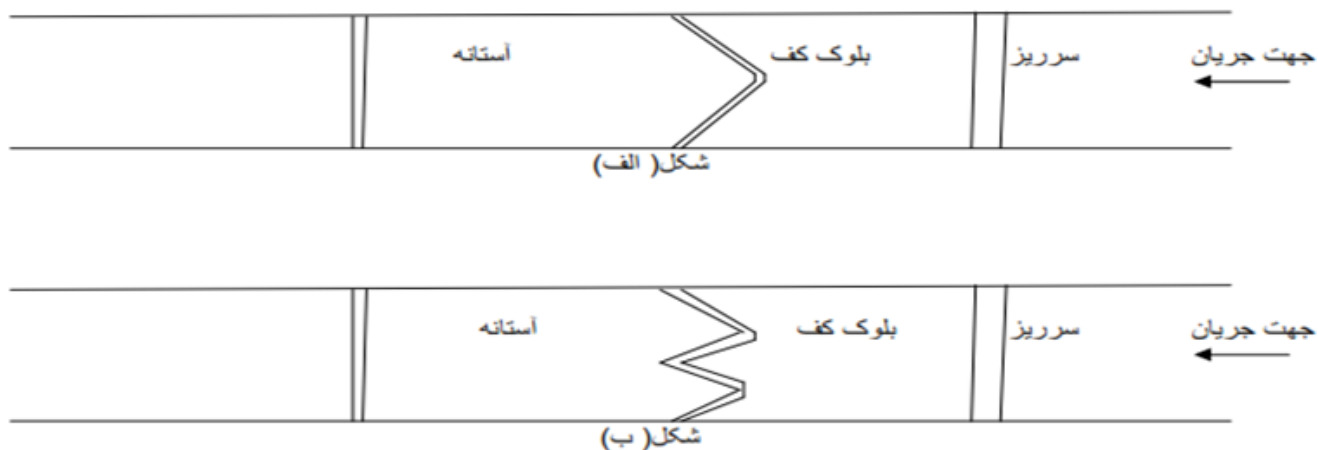
v_1 و y_1 به ترتیب سرعت و عمق متوسط جریان فوق بحرانی در بالادست، y_2 عمق ثانویه جهش (عمق جریان زیر بحرانی) و L_j طول جهش می‌باشند.

۳- مواد و روش‌ها

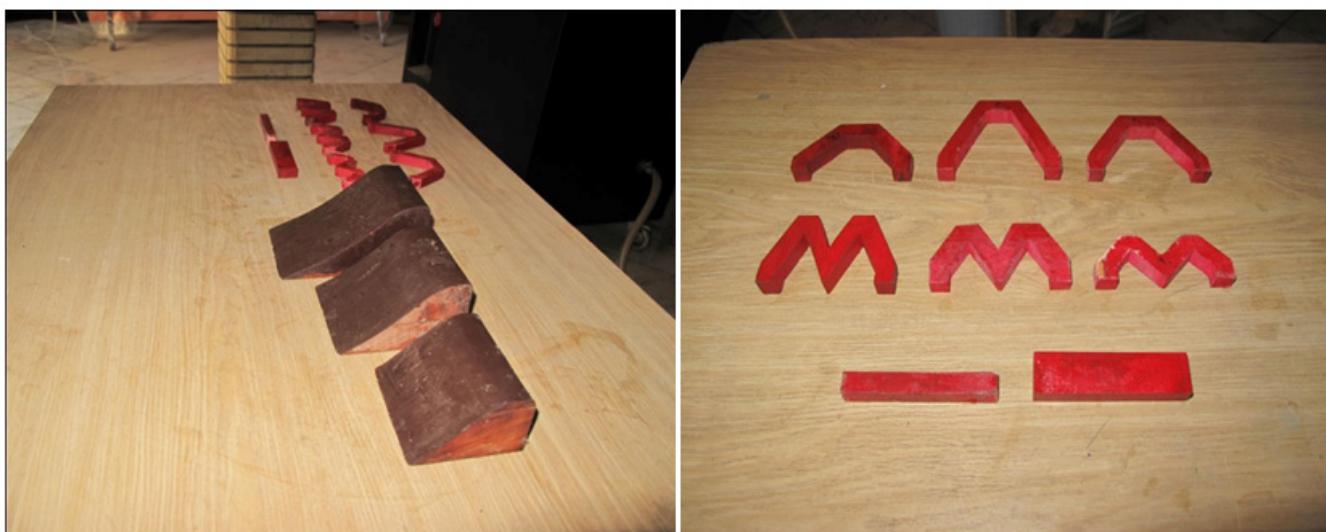
به منظور تحقیق در زمینه میزان تأثیر شکل بلوک کف، شیب پایین دست، اندازه سرریز و دبی‌های مختلف بر روی کاهش فاصله پنجه تا ابتدای جهش و در نتیجه کاهش طول پرش هیدرولیکی، عدد فرود، تلفات انرژی و عمق مزدوج پرش، مطابق شکل (۲) الی (۶) مدل طراحی و آزمایش‌ها روی فلومی به طول ۳ متر و عرض ۸ و ارتفاع ۱۵ سانتی متر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه انتقال آب مرکز آموزش علمی کاربردی شهید بابایی اراک انجام گرفت. مدل مطابق با پروفیل سرریز اوجی در روش استاندارد USBR طراحی شد شکل (۴). بعد از



شکل (۲) پروفیل طولی فلوم، سرریز و موانع در آزمایشگاه



شکل (۳) پلان و موقعیت قرارگیری بلوک‌ها در داخل حوضچه به صورت شماتیک



شکل (۴) سرریزها و موانع به کار رفته در کف حوضچه



شکل (۵) تصویر سرریز و جهش آبی و عمق اولیه و ثانویه



شکل (۶) تصویر فلوم و میز هیدرولیکی آزمایشگاه

بدست آوردن π_1 :

$$QY_1\rho Y_2 = \pi_1 \rightarrow (M^0 L^{3a} T^{-a})(M^b L^{-3b})(L^c)L^l = M^0 L^0 T^0$$

$$\rightarrow a=0, b=0, c=-1 \rightarrow \pi_1 = Y_2/Y_1$$

بقیه پارامترهای بدون بعد به همین روش استخراج می‌شوند.

$$F(S, Re, \frac{Y_2}{Y_1}, \frac{P}{Y_1}, \frac{L}{Y_1}, Fr_1) = 0 \quad (5)$$

با توجه به متغیرهای موجود در پارامترهای بی‌بعد استخراج شده، آزمایش‌ها برنامه‌ریزی و انجام شد. سپس پارامترهای بی‌بعد وابسته به یکدیگر و عدد رینولدز به خاطر عدم تاثیر لزوجت از تابع (۵) حذف و تابع به صورت تابع (۶) درآمد.

$$F(S, \frac{Y_2}{Y_1}, \frac{P}{Y_1}, \frac{L}{Y_1}, Fr_1) = 0 \quad (6)$$

۴- بحث و نتایج

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌ها برای هر یک از موارد ذکر شده در قالب جداول، نمودار و روابطی که بتوان در زمینه مورد نظر بحث نمود و به نتیجه‌گیری پرداخت ارائه شده است.

۴-۱- افت نسبی انرژی پرش هیدرولیکی

افت انرژی E_L و افت انرژی نسبی R_L در جهش آبی به ترتیب به صورت تابع (۷) و (۸) تعریف می‌شوند.

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

$$R_L = E_L/E_1 \quad (8)$$

در این آزمایش‌ها پارامترهای مؤثر بر فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش در واقع طول حوضچه با توجه به پدیده پرش و مشخصات و نیز بررسی مقالات موجود تعیین گردید که تعداد این عوامل ۹ پارامتر به صورت تابع زیر است.

$$F(Y_1, v, Y_2, Q, \rho, V, S, P, L) = 0 \quad (4)$$

که در آن:

Y_1 و Y_2 عمق اولیه و ثانویه پرش، ρ ، Q جرم مخصوص آب و دبی جریان، V ، S شیب و سرعت جریان در فلوم، L به ترتیب لزجت سینماتیک، فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش و P ارتفاع سرریز می‌باشد. سپس برای اینکه بتوان یک گروه‌بندی مشخص از پارامترها که منجر به تقلیل تعداد آنها و تفسیر نتایج آزمایشگاهی شود (کم کردن تعداد آزمایش‌ها) و در هر سیستم آحادی از آن استفاده کرد. لذا پارامترها به صورت بی‌بعد درآورده شد. با استفاده از تحلیل ابعادی و روش باکینگهام عوامل بی‌بعد مؤثر در پدیده پرش هیدرولیکی محاسبه و تابع (۴) به صورت تابع (۵) درآمد. تعداد K متغیر از بین متغیرهای دخیل در مسئله انتخاب و به عنوان متغیرهای تکراری و مستقل مطرح می‌شود. این متغیرها بایستی شامل جمیع کمیت‌های اصلی بوده و متساوی‌البعدهم نباشند، کمیت‌هایی که انتخاب می‌شوند بایستی یکی سینماتیکی، یکی هندسی و دیگری دینامیکی باشد.

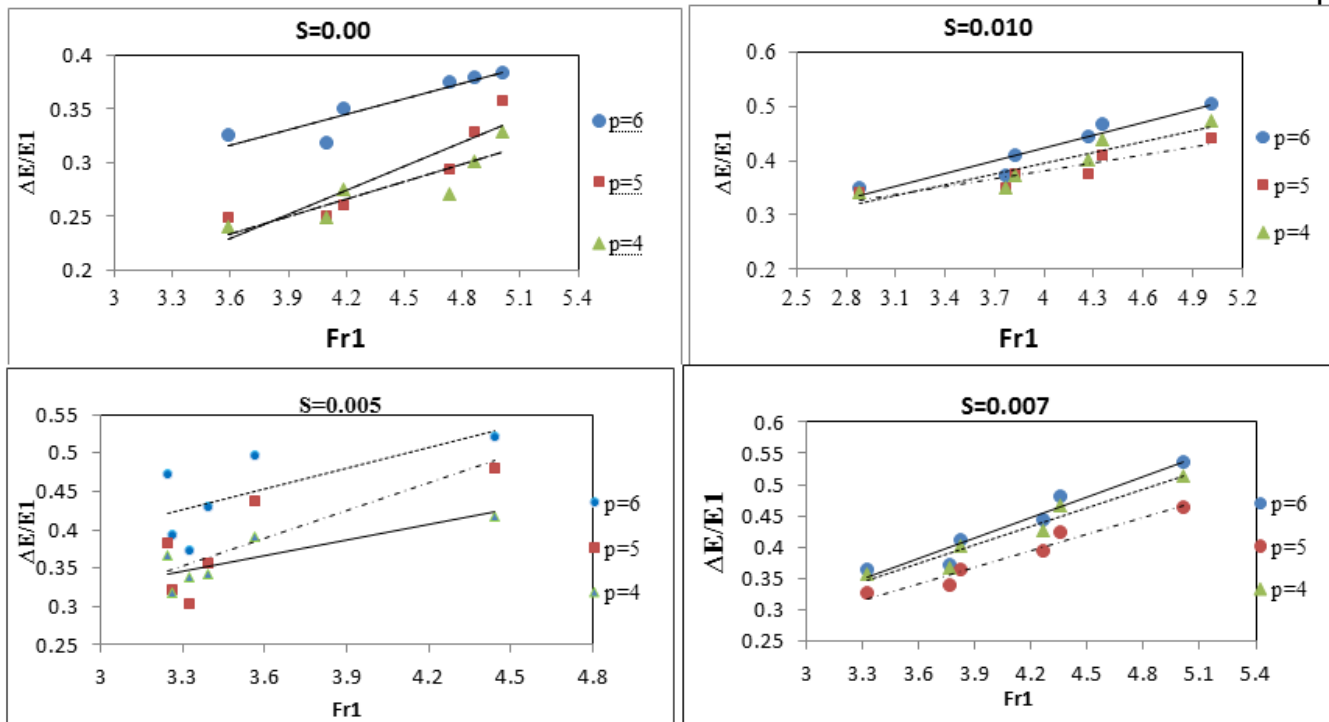
$$QY_1\rho Y_2 = \pi_1 \quad QY_1P\rho = \pi_2 \quad QY_1V\rho = \pi_3 \quad QY_1L\rho = \pi_4 \quad S = \pi_5$$

هر بار حاصل ضرب متغیرهای تکراری یا نمای مجهول در یکی از متغیرهای باقیمانده با نمای معلوم (غالباً یک) ضرب کرده برابر π قرار می‌گیرد، هر π خود از $K+1$ متغیر تشکیل شده است. روش

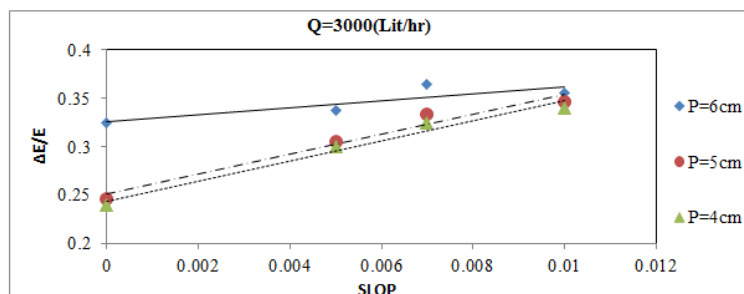
های مربوط به سرریز با ارتفاع بیشتر در بالاتر قرار گرفته‌اند. در این آزمایش‌ها عدد فرود در عمق اولیه بین ۳ تا ۵/۵ بود که بر اساس طبقه بندی پرش‌ها، در این آزمایش‌ها نوع پرش در دو طبقه زیر قرار گرفت. هرگاه $4/5 \leq Fr_1 \leq 2/5$ باشد، جریان بالادست به داخل پیشانی آشفته و به شکل یک جت نوسانی که باعث سطح موجی غیر منظم می‌گردد نفوذ می‌کند. این نوع پرش که به پرش یا جهش نوسانی موسوم است عمدتاً در سازه‌های کوتاه اتفاق افتاده و موج‌های نوسانی بوجود آمده ممکن است تا مسافت‌های طولانی (کیلومترها) در پائین دست ادامه یابند و باعث خرابی سازه‌های خاکی و... گردند. چنانچه $9 \leq Fr_1 \leq 4/5$ باشد پرش حاصله شدید اما پایدار بوده و دارای موج نخواهد بود بلکه آشفته‌گی در یک منطقه محصور می‌باشد. در این پرش‌ها که پرش‌های ساکن نیز نامیده می‌شوند، افت انرژی قابل ملاحظه‌ای در حد ۴۵ تا ۷۰ درصد وجود دارد.

که در آن: E_1 و E_2 به ترتیب ارتفاع انرژی مخصوص جریان در ابتدا و انتهای جهش آبی می‌باشند.

در شکل (۷) حالات مختلف تغییرات افت انرژی نسبی در مقابل Fr_1 برای ۴ شیب و سه ارتفاع رسم شده است. از این شکل مشخص است که مقادیر افت انرژی نسبی با افزایش Fr_1 در بسترهای با مانع بزرگتر از بستر صاف است و این اختلاف با افزایش Fr_1 ، افزایش می‌یابد. حداکثر افت انرژی نسبی در بستر زیر در حدود ۵۶ درصد می‌باشد و افزایش افت انرژی نسبت به بستر صاف حداکثر ۱۸ درصد بیشتر است. در شکل (۸) مقادیر افت نسبی انرژی پرش هیدرولیکی با آب‌پایه‌ها به ازای اعداد فرود اولیه در شیب‌های مختلف حداکثر ۳۶ درصد و حداقل ۲۴ درصد نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل پیداست با افزایش شیب مقادیر افت انرژی نسبی در بستر افزایش یافته است. برای هر ارتفاع نیز مقایسه شده است. داده-



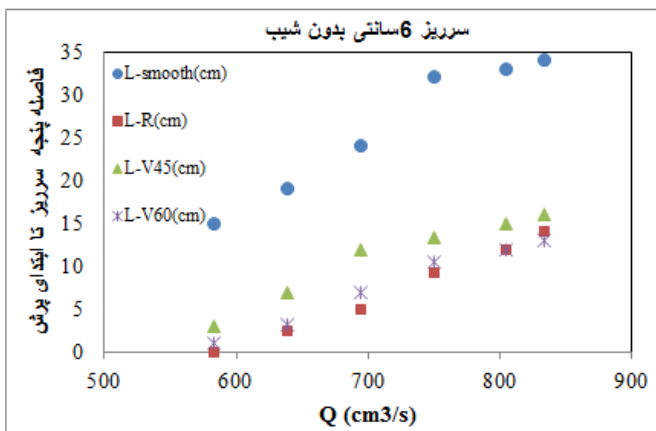
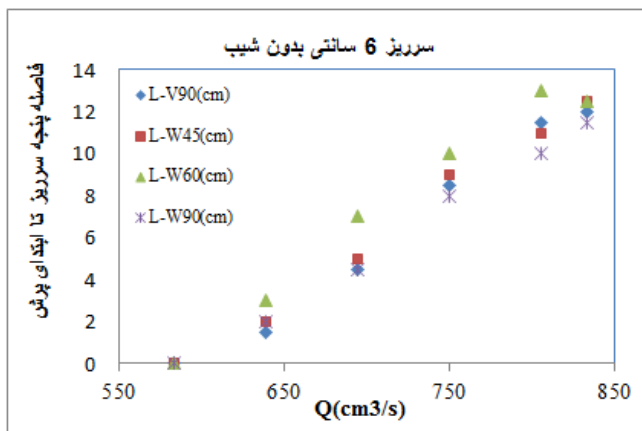
شکل (۷) افت انرژی در پرش برای سرریز با سه ارتفاع و شیب‌های مختلف پایین دست سرریز



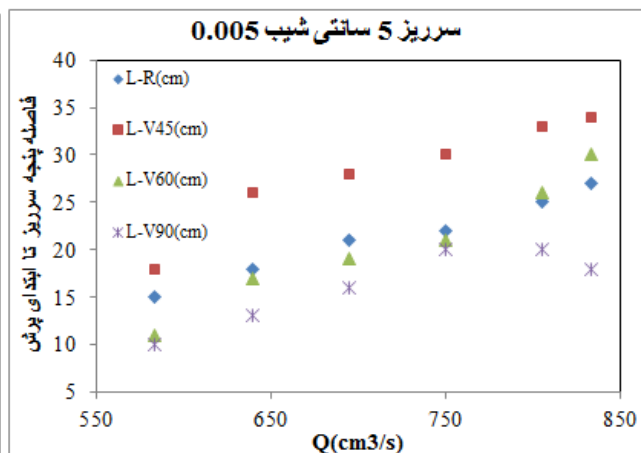
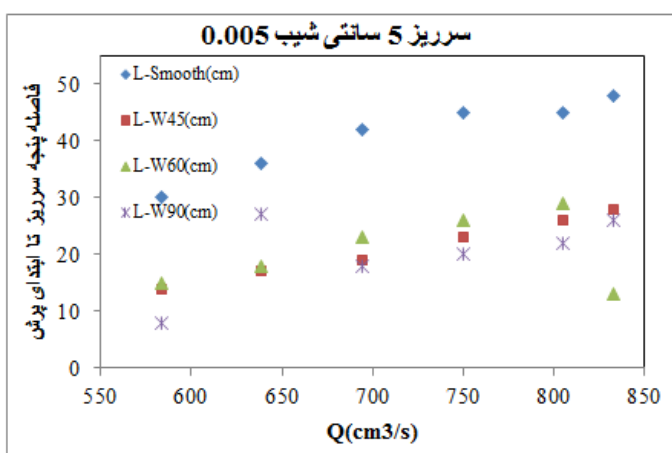
شکل (۸) افت انرژی در پرش برای شیب‌های و ارتفاع‌های مختلف

یک دبی ثابت طول بیشتری را نسبت به بستر با مانع نشان می‌دهد. در مقابل مانع‌های با شکل W90 و I شکل (مانع عمود بر جریان و مستقیم) به ازای یک دبی ثابت کمترین مقدار طول را نشان می‌دهد.

شکل‌های (۹) و (۱۰) تغییرات دبی و طول فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست با افزایش دبی فاصله (طول L) افزایش می‌یابد. بستر بدون مانع به ازای



شکل (۹) ارتباط بین دبی و طول (L) فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش در سرریز ۶ سانتی‌متری



شکل (۱۰) ارتباط بین دبی و طول (L) فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش در سرریز ۵ سانتی‌متری

۰/۷۴ می‌باشد.

۴-۲- فاصله طولی پنجه تا ابتدای جهش هیدرولیکی (L)

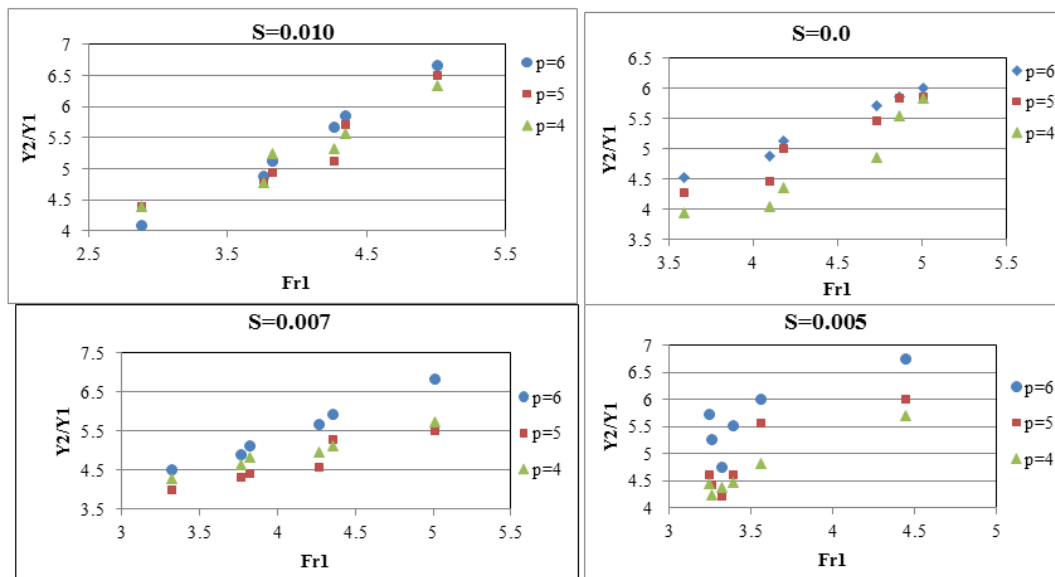
شکل‌های (۱۳) و (۱۴) تغییرات طول نسبی فاصله پنجه تا ابتدای جهش آبی L/y_1 بر روی بستر زبر به همراه داده‌های حاصل از آزمایش‌های انجام شده بر روی بستر صاف و با مانع‌های مختلف را در مقابل عدد فرود جریان فوق بحرانی ورودی نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد تغییرات طول نسبی فاصله پنجه تا ابتدای جهش آبی بر روی بستر با مانع نسبت به بستر صاف کاهش دارد و با افزایش عدد فرود میزان کاهش طول بیشتر می‌شود. با قرارگیری آب پایه (مانع‌ها) در داخل پرش، در اثر ایجاد گرداب‌های سطحی

رابطه y_1/y_2 با Fr_1 برای تمام آزمایش‌ها در شکل (۱۱) نشان داده شده است. با توجه به این شکل‌ها، نسبت عمق‌های مزدوج جهش آبی بر روی بستر با مانع نسبت به بستر صاف کاهش می‌یابد و این کاهش با افزایش عدد فرود فوق بحرانی ورودی شدت بیشتری می‌یابد که حاکی از آن است که افزایش عدد فرود در روی بستر با مانع روند کاهش عمق ثانویه را افزایش می‌دهد. برای نمایش میزان اختلاف عمق ثانویه در بستر با مانع y_2 و جهش کلاسیک y_2^* پارامتر

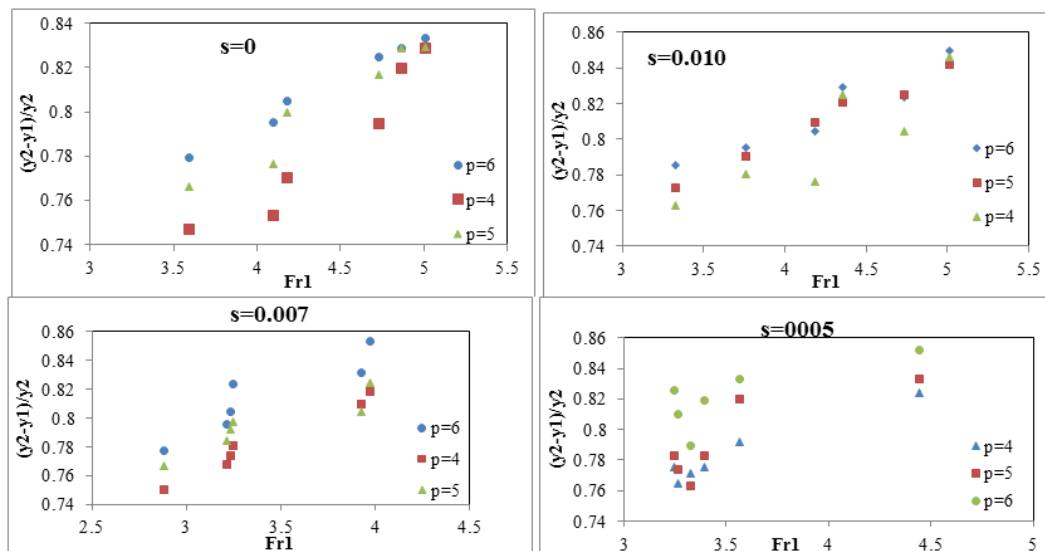
کاهش عمق $(D = y_2^* - y_2/y_2^*)$ تعریف شده است. تغییرات D با عدد فرود جریان فوق بحرانی ورودی در شکل (۱۲) نمایش داده شده است. مقادیر حداکثر و حداقل پارامتر D به ترتیب ۰/۸۵ و

و می‌توانند تأثیر بیشتری در کاهش فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش و طول پرش هیدرولیکی داشته باشند. در این آزمایش‌ها مشخص شد که شکل بلوک کف اگر شکلی شبیه به W و زاویه 90° درجه داشته باشند می‌توانند در کاهش فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش و طول پرش هیدرولیکی مؤثر بوده و به همین نسبت در کاهش هزینه‌های طرح‌های اجرایی اثر بخش باشد. دلیل اصلی کاهش عمق ثانویه و طول در جهش آبی بر روی بسترهای با مانع در مقایسه با بسترهای صاف وجود تنش برشی اضافه است.

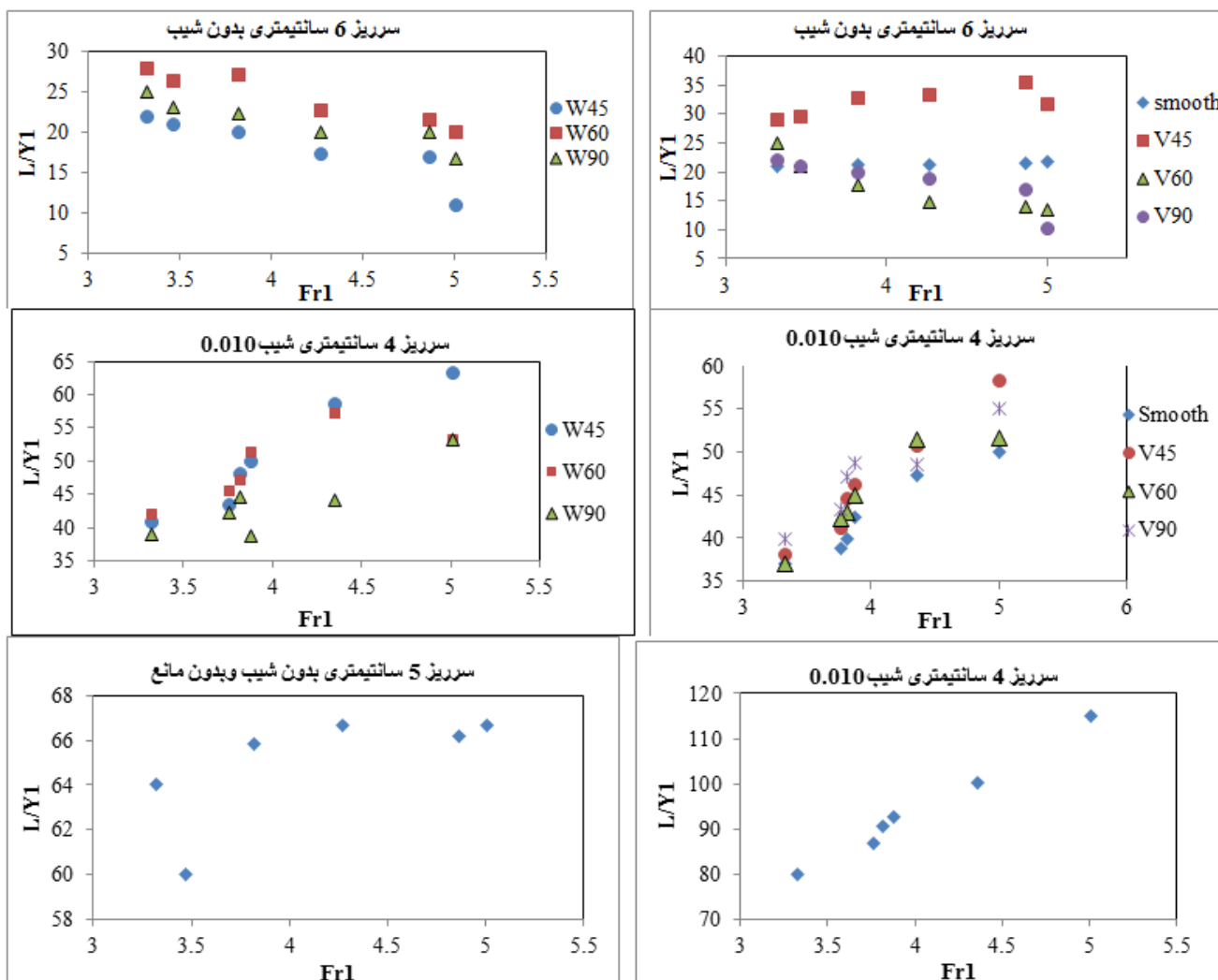
تشکیل شده در بالا دست آب پایه و گرداب‌های کف تشکیل شده در پایین دست آب پایه، قسمت اعظم افت انرژی مستهلک گشته و در نتیجه موج ساکنی در پایین دست آب پایه ایجاد می‌شود. دلیل اصلی کاهش عمق ثانویه در جهش آبی بر روی بسترهای زیر و با مانع در مقایسه با بسترهای صاف وجود تنش برشی اضافه است. با توجه به شکل (۱۵) بلوک‌های دو وجهی (W شکل) و بلوک‌های ساده در کاهش طول پرش تأثیر بیشتری نسبت به بلوک‌های تک وجهی (V شکل) دارند. همچنین بلوک‌های دو وجهی با زاویه 90° درجه به نسبت آنهایی که دارای زاویه 45° یا 60° درجه هستند مناسب‌ترند



شکل (۱۱) رابطه Fr_1 و (Y_1/Y_2) در ارتفاع‌ها و شیب‌های مختلف پایین دست



شکل (۱۲) رابطه Fr_1 و $(Y_1 - Y_2)/Y_2$ در شیب‌های مختلف پایین دست سرریز

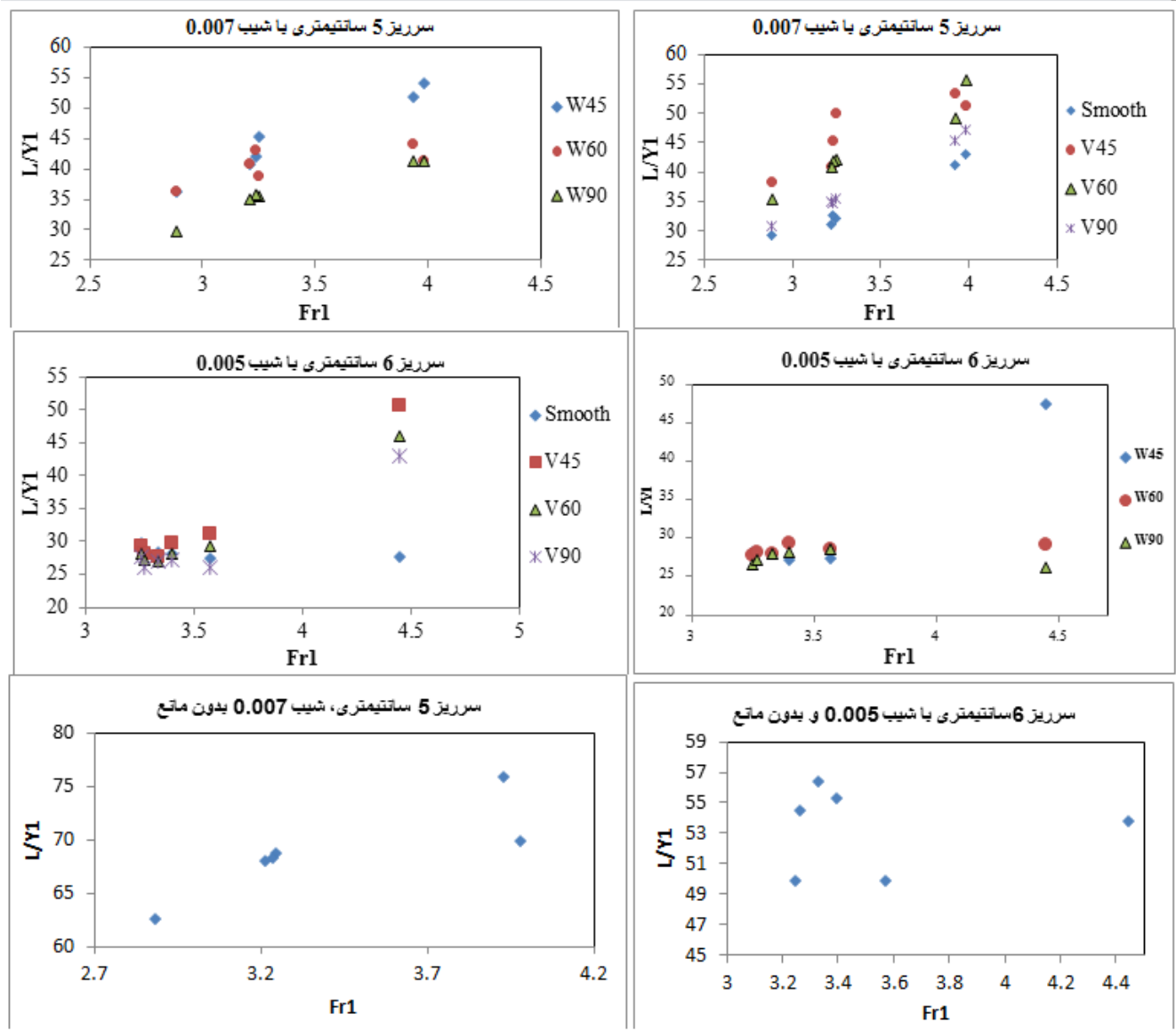


شکل (۱۳) رابطه Fr_1 و (L/Y_1) برای تمام مانع‌ها و شیب‌های پایین دست سرریز

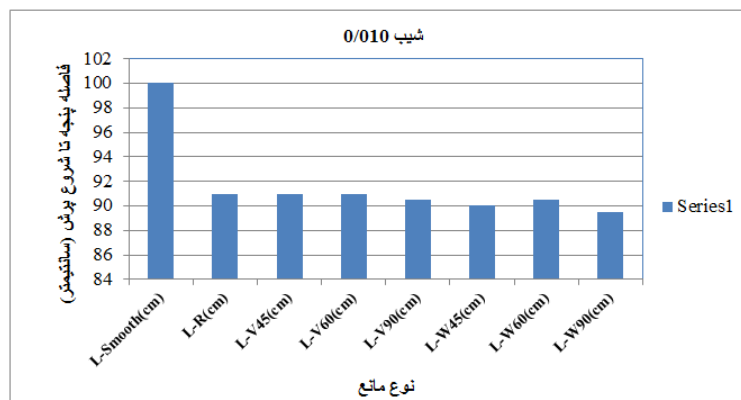
۵- نتیجه‌گیری

- نتایج زیر در محدوده عدد فرود بین (۳-۵/۵) به دست آمده است.
- ۱- بلوک‌های دو وجهی (W شکل) و بلوک‌های ساده در کاهش فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش و طول پرش تأثیر بیشتری نسبت به بلوک‌های تک وجهی (V شکل) دارند،
 - ۲- بلوک‌های دو وجهی با زاویه ۹۰ درجه به نسبت آنهایی که دارای زاویه ۴۵ یا ۶۰ درجه هستند مناسب‌ترند و می‌توانند تأثیر بیشتری در کاهش فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش و طول پرش هیدرولیکی داشته باشند،
 - ۳- اگر شکل بلوک کف شبیه به W و زاویه ۹۰ درجه داشته باشد، طول فاصله پنجه سرریز تا شروع پرش نسبت به حالت بدون مانع ۶۵ درصد کاهش می‌یابد. به همین نسبت در کاهش هزینه‌های طرح‌های اجرایی اثر بخش می‌باشد،
 - ۴- نسبت عمق‌های مزدوج جهش آبی بر روی بستر با مانع نسبت به بستر صاف کاهش یافته و این کاهش با افزایش عدد فرود جریان فوق بحرانی ورودی شدت بیشتری می‌یابد،
 - ۵- حداکثر افت انرژی نسبی در بستر زبر در حدود ۵۶ درصد می‌باشد و افزایش افت انرژی نسبت به بستر صاف حداکثر ۱۸ درصد بیشتر است،
 - ۶- با افزایش دبی فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش (طول L) افزایش یافته است.

- نتایج زیر در محدوده عدد فرود بین (۳-۵/۵) به دست آمده است.
- ۱- بلوک‌های دو وجهی (W شکل) و بلوک‌های ساده در کاهش فاصله پنجه سرریز تا ابتدای پرش و طول پرش تأثیر بیشتری نسبت به بلوک‌های تک وجهی (V شکل) دارند،
 - ۲- بلوک‌های دو وجهی با زاویه ۹۰ درجه به نسبت آنهایی که دارای زاویه ۴۵ یا ۶۰ درجه هستند مناسب‌ترند و می‌توانند تأثیر بیشتری در کاهش فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش و طول پرش هیدرولیکی داشته باشند،
 - ۳- اگر شکل بلوک کف شبیه به W و زاویه ۹۰ درجه داشته باشد، طول فاصله پنجه سرریز تا شروع پرش نسبت به حالت بدون مانع ۶۵ درصد کاهش می‌یابد. به همین نسبت در کاهش هزینه‌های طرح‌های اجرایی اثر بخش می‌باشد،
 - ۴- نسبت عمق‌های مزدوج جهش آبی بر روی بستر با مانع نسبت به بستر صاف کاهش یافته و این کاهش با افزایش عدد فرود جریان فوق بحرانی ورودی شدت بیشتری می‌یابد،
 - ۵- حداکثر افت انرژی نسبی در بستر زبر در حدود ۵۶ درصد می‌باشد و افزایش افت انرژی نسبت به بستر صاف حداکثر ۱۸ درصد بیشتر است،
 - ۶- با افزایش دبی فاصله پنجه سرریز تا ابتدای جهش (طول L) افزایش یافته است.



شکل (۱۴) رابطه Fr_1 و (L/Y_1) برای تمام مانع‌ها و شیب‌های پایین دست سرریز



شکل (۱۵) رابطه طول (L) و نوع مانع‌ها برای دبی ۳۰۰۰ لیتر در ساعت و شیب $(S=0.010)$

characteristics of a hydraulic jump. Final Research Report 427/14. King Saud University. College Of Engineering. Research Center.

8. Ead S. A. and Rajaratnam N. 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Eng.ineering ASCE. 663-128:656.

9. 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. Britis

10. Izadjoo, F. and M. shafai – Bejostan. 2007. Corrugated bed Hydraulic jump sttling basin. J. of Applied Sciences,1169-1164 :(8)7.

11. Omid, M. H., M. Esmaeeli Varaki and R. Narayaa. 2007. Gradually expanding Hydraulic jump in a trapezoidal channel. Journal of Hydraulic Research (IAHR), 518-512 :(4)45.

12. Posey, C.J. and P. S. Hsing. 1938. Hydraulic jump in trapezoidal channel. Eng. News- Record, p. 797.

13. Rajaratnam, n. 1968. Hydraulic jump on rough beds. Trans. Eng. Inst, Canada, 11(A8-1,(2-.

14. Ranaga Ranju, G. K. 2004. Flow Through open channels. Mc Graw Hill book Company, New yourk.

15. shafai – Bejostan, M. and K. Neisi. 2009. A New Roughened Bed Hydraulic jump Stilling Basin. Asian journal of Applied Sciences, 445-436 :1.

۶-پیشنهادها

- نتایج آزمایشگاهی این تحقیق با مدل های ریاضی (FLOW3D) یا (FLUNT) مقایسه شود،

- پیشنهاد می شود آزمایش ها روی فلوم با ابعاد(طول، عرض و ارتفاع) بزرگتری انجام شود.

منابع

۱. الیخانی پور، ر. ۱۳۸۷. بررسی عملکرد مدل الیخانی پور برای سدهای انحرافی در حالت پنجه شیب-دار. دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، در دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲. توزنده جانی، م. کاشفی پور، س. م. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی اثر تخلیه تحتانی سدها انحرافی روی مشخصات پرش هیدرولیکی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. شماره شصت و دوم.

۳. حسینی، م. و ج. ابریشمی. ۱۳۸۴. هیدرولیک کانال های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ نهم، ۶۱۳ صفحه

4. Abbaspour A. and HosseinzadehDalir A. 2009. Effect of sinusoidal corrugated bed on hydraulic jump characteristics. Journal of Hydro-environment Research. 117-3:109.

5. Belanger, J.B. 1828. Essai Sur la Solution Numériuae de Quelques Problèmes Relatifs au Mouvement Permanent des Eaux Courantes. Carulian-Goeury, Paris, France (in French).

6. Diksin, M. H. 1961. Hydraulic jump in trapezoidal channel. Water power, 172-13:167.

7. Ead S. A. 2007. Effect of bed corrugations on the

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■