

بررسی آزمایشگاهی تاثیر همزمان زبری تیز گوشه و شیب مثبت بر روی طول پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش کلاسیک

روزبه آقامجیدی^{۱*}، امیر حسین نوذری^۲

۱- استادیار بخش عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سپیدان، فارس، ایران، roozbeh1381@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت، مرودشت، ایران، amir.nozari@yahoo.com

چکیده

سازه های هیدرولیکی نظیر حوضچه های آرامش عمدتاً به منظور استهلاک انرژی در پائین دست سرریزها، تندآبها و دریچه ها از این خاصیت مهم پرش هیدرولیکی استفاده می نمایند. در این تحقیق میزان و نحوه تاثیر پرش هیدرولیکی با انجام آزمایش های آزمایشگاهی مشخص می گردد. با این هدف آزمایش های متعددی (۶۰ آزمایش) برای اعداد فرود ورودی در محدوده ۴ تا ۱۲ در فلوم به عرض ۳۵ سانتی متر انجام گرفت. در این آزمایش ها زبری تیز گوشه نصب و همچنین با تغییر شیب کف از ۰ تا ۳/۰ درصد، مورد آزمایش قرار گرفت و پارامترهایی چون، دبی جریان، عمق اولیه، عمق ثانویه، طول پرش پروفیل سطح آب، هد آب روی تاج سرریز و هد آب قبل از سرریز با دقت اندازه گیری شد. تجزیه و تحلیل داده ها نشان داد که زبری تیز گوشه می تواند نسبت طول پرش به عمق ثانویه را تا ۳۵.۰٪ کاهش دهد. برای زبری تیز گوشه با افزایش عدد فرود نسبت y_2/y_1 به طور میانگین ۶.۰٪ افزایش می یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت $L/z/y_2$ به طور میانگین ۱.۲٪ کاهش می یابد.

واژه های کلیدی: پرش هیدرولیکی، حوضچه آرامش، سرریز، مدل فیزیکی، زبری، تیز گوشه

مقدمه

پرش هیدرولیکی بر روی بستر زبر گویند. در زمینه تاثیر زبری و شیب مثبت بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی توسط محققین مختلف مطالعاتی صورت گرفته است که به چند مورد از آن ها اشاره می شود. راجاراتنام (۱۹۶۸) اولین مطالعات سیستماتیک را در خصوص پرش های بر روی بستر زبر انجام داد. او نشان داد طول غلطابی L_r و طول پرش L_z بر روی بسترهای زبر بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. لذا از این موضوع این چنین به نظر می آید که پرش های هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر برتری قابل توجهی را نسبت به حالت کلاسیک دارا می باشند. (راجاراتنام ۱۹۶۸). اولین مطالعه آزمایشگاهی سیستماتیک بر روی پرش هیدرولیکی کلاسیک توسط سفرانز (۱۹۲۷) و (۱۹۲۹) انجام شده اگرچه هینز (۱۹۲۰)،

پرش هیدرولیکی یا خیزآب، مهم ترین نوع جریان های متغیر مکانی است که عبارت است از تغییر جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی. این جریان با افزایش ناگهانی سطح آزاد آب و استهلاک انرژی جنبشی زیادی، همراه است. پدیده پرش هیدرولیکی، هنگام عبور آب از زیر یک دریچه، بالای سرریز، تغییر ناگهانی شیب آبراهه از شیب تند به شیب ملایم در طول نسبتاً کوتاه رخ می دهد. در نتیجه این جریان، عمق در فاصله های کوتاه افزایش و از میزان سرعت جریان کاسته می شود که همراه با تلاطم و آشفتگی زیاد سطح آب می باشد. با فاصله گرفتن از ابتدای پرش، به سمت پایین دست از شدت این تلاطم و نهایتاً انرژی آب کاسته می گردد. اگر زبری ها بطور یکنواخت بر روی سطح بستر پرش قرار گرفته باشند، پرش ایجاد شده را

روی بستر زبر شده با استفاده از المان های مکعبی نشان داد که طول نسبی پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای زبر نسبت به حالت کلاسیک از $27/4$ تا $67/4$ درصد تغییر می‌کند (محمدعلی ۱۹۹۱). اید و همکاران (۲۰۰۰) بررسی های آزمایشگاهی را در خصوص تعیین میدان سرعت در جریان های متلاطم در یک لوله موجدار دایروی به قطر ۶۲ سانتیمتر با ۳ شیب مختلف و دبی های متفاوت انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که سرعت ها در نواحی مرزی لوله موجدار نسبتاً کم است. آنها در این تحقیق به دنبال بررسی شرایط عبور ماهی ها از درون کالورت های موجدار بودند (اید و همکاران ۲۰۰۰). تاکنون مطالعات بسیاری در خصوص تاثیر زبری و شیب مثبت بر مشخصات پرش هیدرولیکی انجام گرفته است. اما هدف از ساخت مدل آزمایشگاهی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت بررسی عملی بستر زبر بر روی پرش هیدرولیکی، بررسی علمی شیب مثبت بر پرش هیدرولیکی و ارزیابی نتایج آزمایشگاهی می باشد. لازم به ذکر است در این تحقیق بر اساس بررسی مجموعه کارهای انجام شده دانشمندان از زبری لوزی از جنس فوم بر روی حوضچه آرامش کلاسیک بهره گرفته شد.

مواد و روش ها

آنالیز ابعادی

پارامترهای اندازه گیری شده در هر آزمایش عبارتند از:

دبی Q ، عمق اولیه پرش Y_1 ، عمق ثانویه پرش Y_2 ، عمق پایاب TW ، طول پرش هیدرولیکی L_j ، طول غلتاب L_r ، بار آبی روی تاج سرریز H و بار آبی قبل از سرریز، پروفیل سطح آب در طول پرش، میزان بازشدگی دریچه پایین دست و در تعدادی از آزمایش ها پروفیل عمقی سرعت در طول پرش. روش فوق برای هر یک از ۳ آرایش های زبری در ۵ عدد فرود متفاوت و ۳ شیب انجام گردید.

استیونس (۱۹۲۵)، لوی و المز (۱۹۲۷) و منتقدین آنها در مورد اینکه پرش به چه چیزی اتلاق می شود بحث هایی داشته اند اما مقاله سفرانز (۱۹۲۷) خلاصه ای از مطالعات پیشین از جمله اطلاعات بیدونه، داری بزن، فریدی مریمان (۱۸۹۵) را دارا است. براساس مطالعات انجام شده توسط کنسیون و سفرانز و فلش بارت (۱۹۲۹) محاسبه عمق های متناظر با استفاده از معادله مومنتم در سطح عمومی پذیرفته شد. در طول دوره دوم مطالعه مربوط به پرش ها، عمده مطالعات و نتایج توسط ایالات متحده آمریکا بدست آمد که طی آن بخماتف (۱۹۳۲) در مورد جریان آبراهه های باز بحث نمود و راس (۱۹۳۴) فرضیه اعداد بدون بعد که عدد فرود از شاخص های مهم پرش های هیدرولیکی می باشد را ارائه نمود. هوک (۱۹۸۴) پرش های بزرگ و همچنین عکسبرداری از آنها را گزارش نمود و دراموند (۱۹۳۵) یک رویه ساده طراحی را ارائه نمود. بخماتف و ماتزکه (۱۹۳۶) پروفیل های بدون بعد سطح آزاد آب و همچنین داده های آزمایشی عمق های متناظر و طول پرش را ارائه نمودند. سومین مطالعه انجام شده در خصوص طراحی توسط اسکوبی (۱۹۳۹) ارائه گردید. مور (۱۹۴۳) وضعیت ایجاد پرش در انتهای شیب شکن ها و همچنین انواع فرم های پرش و پروفیل های سطحی را مورد بررسی قرار داد و بخماتف و ماتزکه به هنگام بررسی این مقاله ایده توزیع سرعت را ارائه دادند. دوره چهارم پرش های هیدرولیکی در اوائل دهه هفتاد صورت گرفت و شامل روش های مشاهده ای بسیار پیشرفته مانند روش هات فیلم (رش ۱۹۷۰، رش و لوت هاورز ۱۹۷۱ و ۱۹۷۲) و سنجش گر لیزر داپلر می باشد. اولین مدل های ریاضی پرش هیدرولیکی توسط راس (۱۹۷۰) نارایانان (۱۹۷۵) مک کرکیدیل و خلیفه (۱۹۸۳) مادسن و سوندسن (۱۹۸۳)، سوندسن و مادسن (۱۹۸۴)، قارانگیک و چادری (۱۹۹۱) تهیه گردید و تغییر جریان از وضعیت فوق بحرانی به جریان زیر بحرانی توسط معادله از نوع بوزینسک شبیه سازی شد. محمد علی (۱۹۹۱) با انجام یک سری آزمایشات بر

تیز گوشه شکل تفلون می باشد. در این تحقیق به منظور ایجاد جریان فوق بحرانی و عمق اولیه پرش هیدرولیکی از یک عدد سرریز اوجی مطابق استاندارد USBR از جنس پلکی گلاس استفاده گردید. به منظور جلوگیری از جداشدگی خطوط جریان و پدیده کاویتاسیون، سطح بالایی زبری ها با سطح پای سرریز اوجی که در آن جریان فوق بحرانی ایجاد می گردد در یک تراز قرار داده شوند. مشخصات زبری های استفاده شده در کف به شرح جدول (۱) می باشند. بر این اساس h_R ارتفاع زبری ها، W_R عرض زبری های L_{RC} طول پوشش شده زبری ها می باشد.

سپس با استفاده از پارامترهای اندازه گیری شده فوق الذکر اقدام به محاسبه پارامترهای زیر گردید. روش انجام آزمایش :

(Fr) ، (y_2/y_1) و (L_j/y_2) و جهت تحقق نتایج تعداد ۶۰ آزمایش توسط محقق انجام گرفته است. آزمایش ها در فلوم آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد یاسوج انجام گرفت. فلوم به طول ۸ متر، عرض ۰/۳۵ متر، ارتفاع ۰/۴ متر است (شکل ۱). جنس بستر کف پلکسی گلاس و دیواره ها شیشه، مخزن ابتدای فلوم از جنس شیشه پلکسی گلاس به ظرفیت یک متر مکعب و جنس زبری های

جدول ۱- مشخصات زبری تیز گوشه مورد استفاده در پژوهش

شماره زبری	شکل زبری	ارتفاع زبری (mm)	طول زبری در جهت جریان (mm)	عرض زبری (mm)
۱	بدون زبری			
۲	لوزی	۱۶	۱۶	۲۲۶



شکل ۱- فلوم آزمایشگاهی جهت انجام آزمایشات

ثانویه پرش Y_2 ، عمق پایاب TW ، طول پرش هیدرولیکی L_j ، طول غلتاب L_r ، بار آبی روی تاج سرریز H و بار آبی قبل از سرریز، پروفیل سطح آب در طول پرش، میزان بازشدگی دریاچه پایین دست و در تعدادی از آزمایش ها پروفیل عمقی سرعت در طول پرش.

برای اندازه گیری دقیق عمق های اولیه و ثانویه در پرش، یک عمق در وسط و دو عمق در کنار دیواره کانال اندازه گیری و متوسط آنها به عنوان عمق جریان منظور می گردد. پارامترهای اندازه گیری شده در هر آزمایش عبارتند از دبی Q ، عمق اولیه پرش Y_1 ، عمق

برای هر ابعاد زبری بستر تعداد ۵ دبی و ۵ عدد فرود
 $0.1 < Fr < 10.99$ و چهار شیب مثبت ۰، ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳
 و ۰/۳ مورد آزمایش قرار گرفت.

سپس با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده اقدام به
 محاسبه پارامترهای زیر گردید.

(Fr) ، $(\frac{y_2}{y_1})$ و $(\frac{L_j}{y_2})$ و جهت تحقق نتایج
 تعداد ۶۰ آزمایش توسط محقق انجام گرفته است.

جدول ۱- نتایج آزمایشات در شیب ۰ درصد و زبری لوزی

آزمایش	عدد فرود	$\frac{y_2}{y_1}$		$(\Delta E / E1)$		$\frac{L_j}{y_2}$	
		بدون زبری	با زبری	بدون زبری	با زبری	بدون زبری	با زبری
	۴.۱	۶.۳۷	۶.۲۳	۱.۳۰	۳۱.۵	۵.۴۴	۴.۴۳
شیب ۰٪	۵.۱۱	۷.۳۹	۷.۰۵	۴۵.۷	۴۸	۶.۰۱	۴.۲۵
زبری لوزی	۶.۳۴	۸.۶۹	۷.۹۴	۵۷.۵	۶۰.۹	۶.۴۱	۴.۰۸
	۸.۲۵	۱۱.۱	۹.۷۲	۶۷.۵	۷۱.۲	۵.۹۸	۳.۸۴
	۱۰.۹۹	۱۳.۸	۱۱.۸۸	۷۷	۸۰	۵.۵۹	۲.۳۷

و تغییرات طول پرش به عمق ثانویه در مقابل عدد فرود
 اولیه متناظر در شیب صفر درصد ترسیم گردیده است.

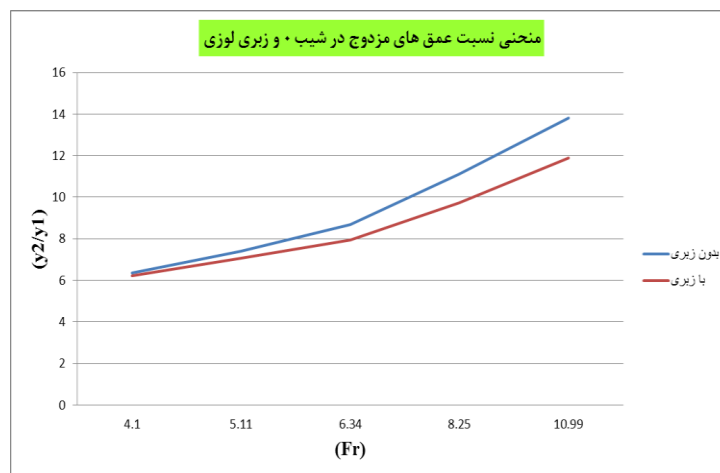
بحث و نتیجه گیری

مقایسه نسبت عمق ثانویه به اولیه و نسبت طول

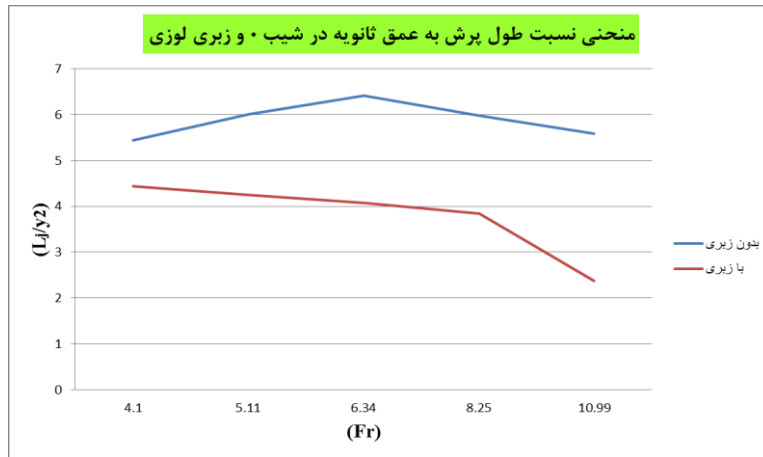
پرش به عمق ثانویه در شیب صفر

در این تقسیم بندی، در شکل های ۲-الف، ۲-ب

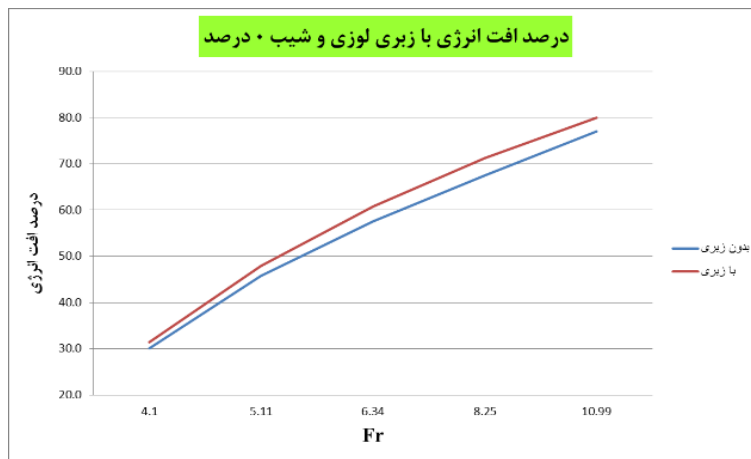
و ۲-ج در زبری بستر تغییرات نسبت عمق ثانویه به اولیه



الف: نمودار نسبت $\frac{y_2}{y_1}$



ب: نمودار نسبت $\frac{L_j}{y_2}$



ج) نمودار درصد افت انرژی Fr

شکل ۲- نتایج آزمایشات در شیب صفر درصد و زبری لوزی

L_j/y_2 کاهش می یابد. با نصب زبری تیز گوشه درصد افت انرژی افزایش می یابد.

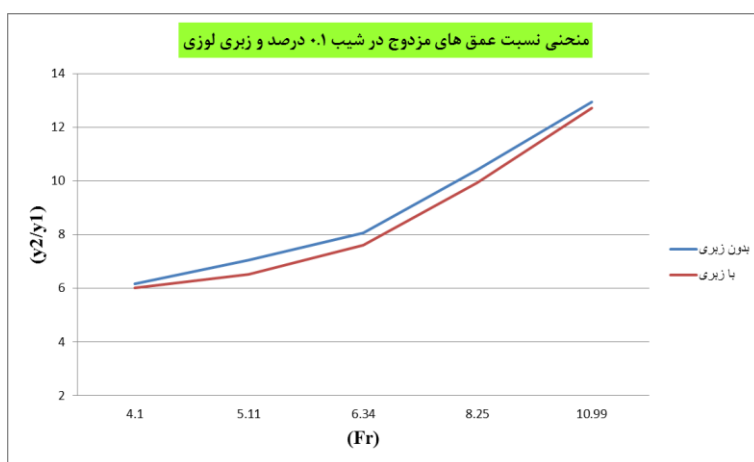
مقایسه نسبت عمق ثانویه به اولیه و نسبت طول پرش به عمق ثانویه در شیب ۰/۱ درصد

در این قسمت، در شکل های ۳-الف، ۳-ب و ۳-ج در زبری تیز گوشه بستر تغییرات نسبت عمق ثانویه به اولیه و تغییرات طول پرش به عمق ثانویه در مقابل عدد فرود اولیه متناظر در شیب ۰/۱ درصد مشخص شده است.

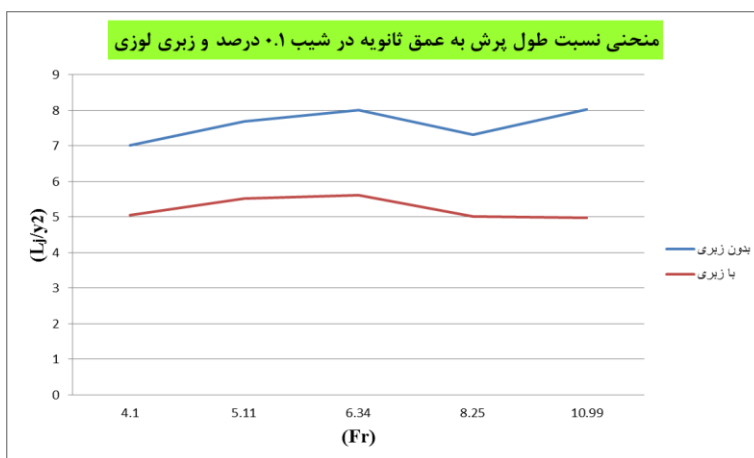
نتایج نشان می دهد که در مجموع، درصد کاهش عمق مزدوج در زبری تیز گوشه به ترتیب (با دقت یک رقم اعشار) ۹.۶ درصد می باشد. و درصد کاهش نسبت طول پرش به عمق ثانویه در زبری لوزی (با دقت یک رقم اعشار) ۳۵.۵ درصد می باشد. درصد کاهش انرژی در بستر صاف ۵۵.۶ و با زبری تیز گوشه به ترتیب ۵۸.۳ درصد می باشد. برای زبری تیز گوشهها افزایش عدد فرود نسبت y_2/y_1 افزایش می یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت y_2/y_1 کاهش می یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت

جدول ۲- نتایج آزمایشات در شیب ۰.۱ درصد و زبری لوزی

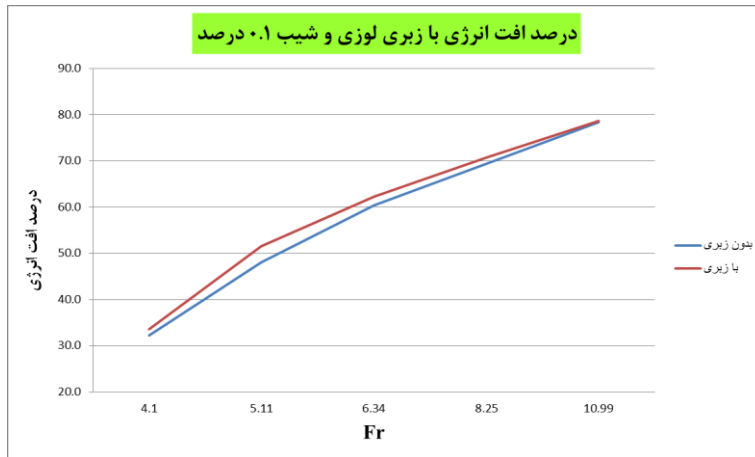
آزمایش	عدد فرود	$\frac{y_2}{y_1}$		$(\Delta E / E1)$		$\frac{L_j}{y_2}$	
		بدون زبری	با زبری	بدون زبری	با زبری	بدون زبری	با زبری
	۴.۱	۶.۱۵	۶.۰۱	۳۲.۲	۳۳.۶	۷.۰۱	۵.۰۵
	۵.۱۱	۷.۰۴	۶.۵۱	۴۸	۵۱.۵	۷.۶۸	۵.۵۲
شیب ۰.۱ %	۶.۳۴	۸.۰۵	۷.۶۱	۶۰.۴	۶۲.۳	۸.۰۱	۵.۶۱
زبری لوزی	۸.۲۵	۱۰.۴۲	۹.۹۳	۶۹.۴	۷۰.۷	۷.۳۲	۵.۰۲
	۱۰.۹۹	۱۲.۹۵	۱۲.۷۲	۷۸.۳	۷۸.۷	۸.۰۲	۴.۹۸



الف) نمودار نسبت $\frac{y_2}{y_1}$



ب) نمودار نسبت $\frac{L_j}{y_2}$



ج) نمودار درصد افت انرژی به Fr
 شکل ۳- نتایج آزمایشات در شیب ۰/۱ درصد و زبری لوزی

L_j/y_2 کاهش می یابد. با نصب زبری تیز گوشه درصد افت انرژی افزایش می یابد.

مقایسه نسبت عمق ثانویه به اولیه و نسبت طول

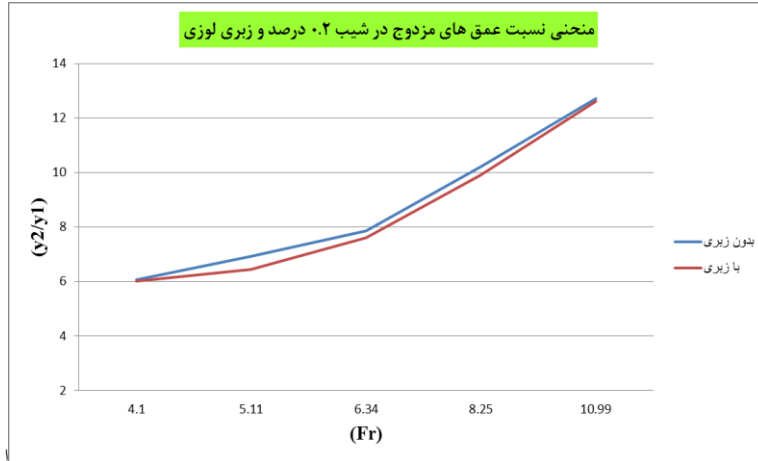
پرش به عمق ثانویه در شیب ۰/۲ درصد

در این بخش، در شکل های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج در زبری تیز گوشه‌بستر تغییرات نسبت عمق ثانویه به اولیه و تغییرات طول پرش به عمق ثانویه در مقابل عدد فرود اولیه متناظر در شیب ۰/۲ درصد مشخص شده است.

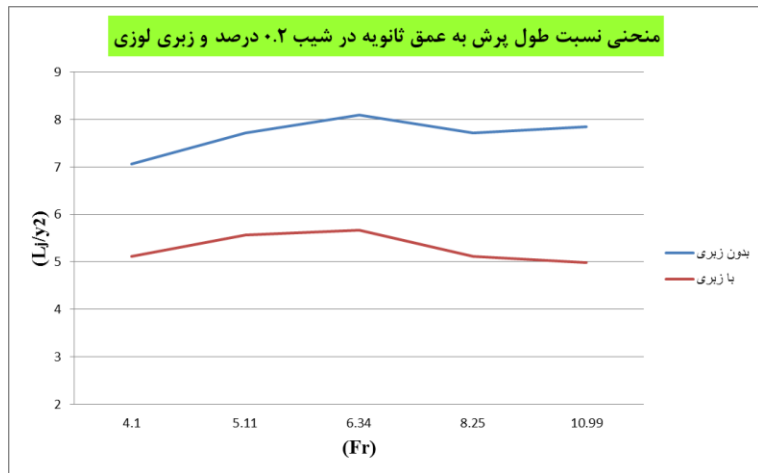
نتایج نشان می دهد در شیب ۰/۱ درصد، درصد کاهش عمق مزدوج در زبری تیز گوشه (با دقت یک رقم اعشار) ۴۰/۱ درصد می باشد. و درصد کاهش نسبت طول پرش به عمق ثانویه در زبری تیز گوشه (با دقت یک رقم اعشار) ۳۱/۲ درصد می باشد. درصد کاهش انرژی در بستر صاف ۵۷/۷ و با زبری تیز گوشه به ترتیب ۵۹/۳ درصد می باشد. برای زبری تیز گوشهها افزایش عدد فرود نسبت y_2/y_1 افزایش می یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت y_2/y_1 کاهش می یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت

جدول ۳- نتایج آزمایشات در شیب ۰/۲ درصد و زبری لوزی

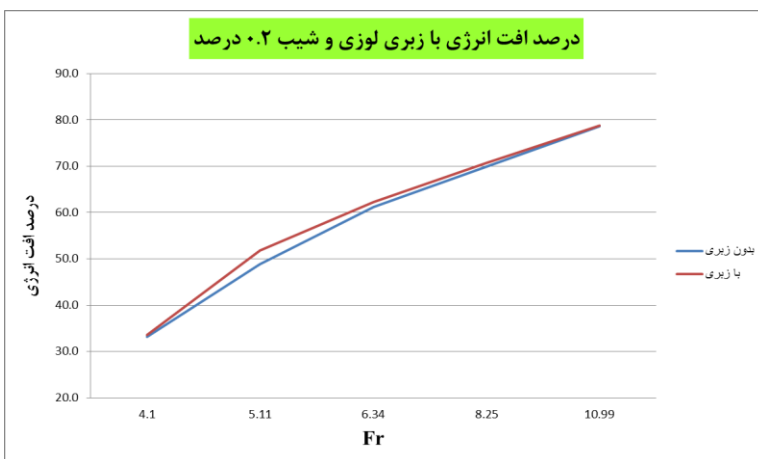
آزمایش	عدد فرود	$\frac{L_j}{y_2}$		$(\Delta E / E1)$		$\frac{L_j}{y_2}$	
		بدون زبری	با زبری	بدون زبری	با زبری	بدون زبری	با زبری
	۴.۱	۶.۰۵	۶.۰۱	۳۳.۲	۳۳.۶	۷.۰۶	۵.۱۱
	۵.۱۱	۶.۹۱	۶.۴۵	۴۸.۹	۵۱.۹	۷.۷۲	۵.۵۶
شیب ۰/۲ %	۶.۳۴	۷.۸۵	۷.۶۱	۶۱.۲	۶۲.۳	۸.۱۰	۵.۶۶
زبری لوزی	۸.۲۵	۱۰.۲۲	۹.۹۱	۶۹.۹	۷۰.۷	۷.۷۲	۵.۱۲
	۱۰.۹۹	۱۲.۷۲	۱۲.۶۱	۷۸.۷	۷۸.۸	۷.۸۵	۴.۹۹



الف) نمودار نسبت $\frac{y_2}{y_1}$



ب) نمودار نسبت $\frac{L_j}{y_2}$



ج) نمودار درصد افت انرژی به Fr

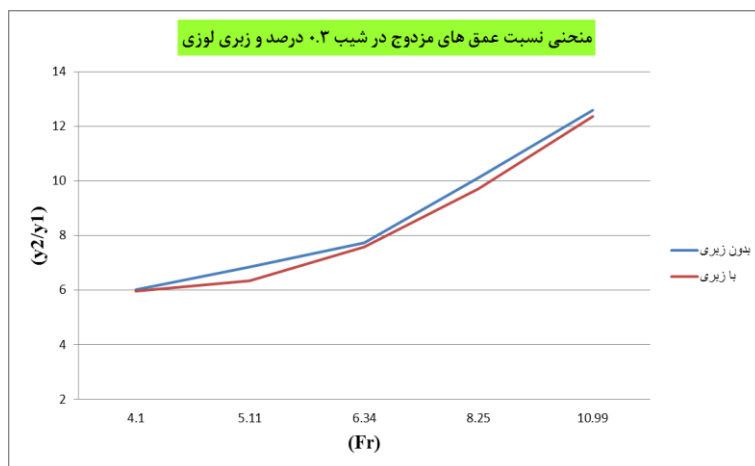
شکل ۴- نتایج آزمایشات در شیب ۰/۲ درصد و زبری لوزی

گوشه‌به ترتیب ۵۹.۵ درصد می باشد. برای زبری تیز گوشهها افزایش عدد فرود نسبت y_2/y_1 افزایش می یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت y_2/y_1 کاهش می یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت L_j/y_2 کاهش می یابد. با نصب زبری تیز گوشه درصد افت انرژی افزایش می یابد.

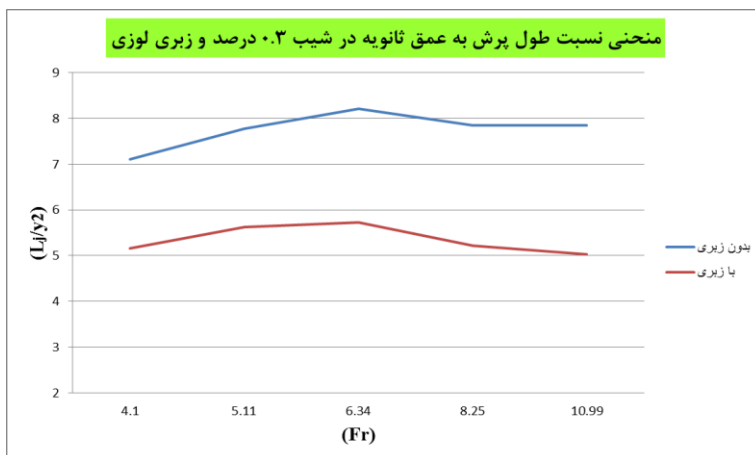
نتایج نشان می دهد در شیب ۰/۲ درصد، درصد کاهش عمق مزدوج در زبری تیز گوشه (با دقت یک رقم اعشار) ۲۶۵ درصد می باشد. و درصد کاهش نسبت طول پرش به عمق ثانویه در زبری تیز گوشه (با دقت یک رقم اعشار) ۳۱.۲ درصد می باشد. متوسط درصد کاهش انرژی در بستر صاف ۵۸.۴ و با زبری تیز

مقایسه نسبت عمق ثانویه به اولیه و نسبت طول

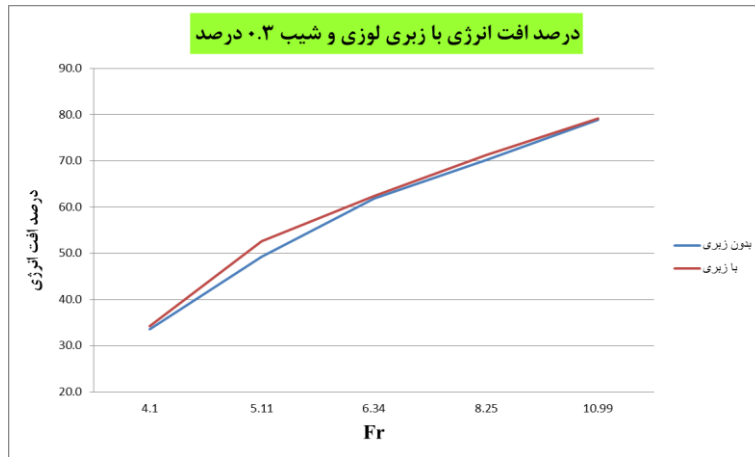
پرش به عمق ثانویه در شیب ۰/۳ درصد



الف) نمودار نسبت $\frac{y_2}{y_1}$



ب) نمودار نسبت $\frac{L_j}{y_2}$



ج) نمودار درصد افت انرژی به Fr
شکل ۵- نتایج آزمایشات در شیب ۰/۳ درصد و زبری لوزی

سرریزها و سدهای انحرافی از این خاصیت مهم پرش هیدرولیکی استفاده می‌نمایند. بطور کلی از تحقیق حاضر می‌توان این نتایج را استخراج کرد. زبری‌های تیز گوشه‌می‌توانند باعث کاهش عمق مزدوج پرش در مقایسه با پرش کلاسیک به مقدار حدود ۲.۶۵٪ تا ۹.۶٪ و به طور میانگین ۶.۱۳٪ شوند. در مقایسه با پرش هیدرولیکی کلاسیک روی بستر صاف، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که زبری تیز گوشه‌می‌توانند نسبت طول پرش به عمق ثانویه را تا ۳۵.۵٪ کاهش دهد. برای زبری تیز گوشه‌ها افزایش عدد فرود نسبت y_2/y_1 به طور میانگین ۶.۵٪ افزایش می‌یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت L_j/y_2 به طور میانگین ۱.۲٪ کاهش می‌یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت y_2/y_1 تا ۲٪ کاهش می‌یابد. با نصب زبری تیز گوشه درصد افت انرژی به طور متوسط ۱.۷٪ افزایش می‌یابد.

نتایج شکل (۵) نشان می‌دهد در شیب ۰/۳ درصد، درصد کاهش عمق مزدوج در زبری لوزی (با دقت یک رقم اعشار) ۳.۱۶ درصد می‌باشد. و درصد کاهش نسبت طول پرش به عمق ثانویه در زبری لوزی (با دقت یک رقم اعشار) ۳۱.۱ درصد می‌باشد. متوسط درصد کاهش انرژی در بستر صاف ۵۸.۷ و با زبری تیز گوشه به ترتیب ۶۰ درصد می‌باشد. برای زبری تیز گوشه با افزایش عدد فرود نسبت y_2/y_1 افزایش می‌یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت y_2/y_1 کاهش می‌یابد. برای یک عدد فرود با نصب زبری تیز گوشه نسبت L_j/y_2 کاهش می‌یابد. با نصب زبری تیز گوشه درصد افت انرژی افزایش می‌یابد.

نتیجه گیری

پرش هیدرولیکی موجب استهلاک انرژی جنبشی آب می‌گردد. سازه‌های هیدرولیکی نظیر حوضچه‌های آرامش عمدتاً به منظور استهلاک انرژی در پایین دست

منابع

- 1-Bakhmeteff, B.A.; Matzke, A.E. The hydraulic jump in terms of dynamic similarity. ASCE Trans. 1936, 101, 630–680.
- 2- Bakhmeteff, B.A. (1932): Hydraulics of Open Channels. McGraw-Hill: New York.
- 3-Drummond, G.B. (1935): The Design of Stilling Basins for Small Dams and Weirs. Agricultural Engineering 16(8): 319–320.

- 4-Ead S.A. Rajaratnam N. Katopodis C. and Ade F. (2000). "Turbulent open channel flow in circular corrugated culverts". J. Hydraulic Engineering, 126(10): 750-757.
- 5-Gharangik, A.M. & Chaudhry, M.H. (1991): Numerical Simulation of Hydraulic Jump. J. Hydraulic Engineering ASCE to be published.
- 6-Hughes, W.C, Flack. J.E. (1984). "Hydraulic jump properties over a rough Bed Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 110, No. 12, PP. 1755-1771".
- 7-Hinds, J. (1920): The Hydraulic Jump and Critical Depth in the Design of Hydraulic Structures. Discussions 1922, 88(22): 923-924.
- 8- Leutheusser, H.J. & Kartha, V.C. (1972): Effects of Inflow Condition on Hydraulic Jump. Proc. ASCE, J. Hydraulics Division 98(HY8): 1367-1385.
- 9-Levy, A.G. & Ellms, J.W. (1927): The Hydraulic Jump as a Mixing Device. J. American Water Works Association 17(1): 1-26.
- 10-Mohamed Ali, H.S (1991), "Effect of Roughened-Bed stiling Basin on Lengh of Rectangular Hydraulic Jump" Journal of hydraulic Engineering ASCE, Vol 117, No.1. PP.83-93.
- 11-McCorquodale, J.A. & Khalifa, A. (1983): Internal Flow in Hydraulic Jumps. Proc. ASCE, J. Hydraulic Engineering 109(5): 684-701.
- 12-Moore, W.L. (1943): Energy Loss at the Base of a Free Overfall. Trans. ASCE 108:1343-1392.
- 13-Madsen, P.A. & Svendsen, I.A.(1983): Turbulent Bores and Hydraulic Jumps. J. Fluid Mechanics 129: 1-25.
- 14-Narayanan, R. (1975): Wall Jet Analogy to Hydraulic Jump. Proc. ASCE, J. Hydraulics Division 101(HY3): 347-359.
- 15-Rajaratnam, N. (1968). "Hydraulic jump on rough bed" Trabsactions of the engineering institute of Canada, Vol. 11, No. A-2, PP.1-8.
- 16- Rouse, H. (1934): On the Use of Dimensionless Numbers. Civil Engineering 4(11): 563-568.
- 17-Resch, F. (1970): Hot-Film Turbulence Measurements in Water Flow. Proc. ASCE, J. Hydraulics Division 96(HY3): 787-800. Discussion 1971, 97(HY1): 194-196: 1971, 97(HY8): 1238-1239. Google Scholar
- 18-Resch, F.J. & Leutheusser, H.-J. (1971): Mesures de turbulence dans le ressaut hydraulique. La Houille Blanche 26(1): 17-31. Google Scholar
- 19-Resch, F.J. & Leutheusser, H.-J. (1972a): Le ressaut hydraulique: mesures de turbulence dans la region diphasique. La Houille Blanche 27(4): 279-293.
- 20-Svendsen, I.A. & Madsen, P.A. (1984): A Turbulent Bore on a Beach. J. Fluid Mechanics 148:73-96.
- 21-Safranez, K. (1927): Wechselsprung und die Energievernichtung des Wassers. Bauingenieur 8(49): 898-905.