

«یادداشت تحقیقاتی»

ارزیابی اثر صفحات مستغرق بر خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش

آرمان عزیزی¹، بهزاد قربانی^{2*}، هانی تبریزی³، حسین صمدی بروجنی⁴

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شهرکرد

2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

3- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه لرستان

4- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شهرکرد

* شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، دانشکده کشاورزی

Behg1955@yahoo.com

چکیده - حوضچه‌های آرامش به منظور استهلاک انرژی جنبشی در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی از قبیل شیب‌شکن‌ها، سرریزها، تندآب‌ها و دریچه‌ها استفاده می‌شوند. در این تحقیق مشخصات پرش هیدرولیکی با حضور صفحه‌های مستغرق در فلومی به طول 12، عرض و ارتفاع 0/4 متر مورد ارزیابی قرار گرفت. این صفحات با ارتفاع 1/1، 2/2، 3/3 و 4/4 سانتی‌متر و زوایای حمله 10، 20، 30 و 90 درجه در مقابل جریان قرار داده شده و در مجموع 64 آزمایش در محدوده عدد فرود اولیه 3 تا 8 و دبی‌های 15، 20، 25 و 30 لیتر بر ثانیه انجام شد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از صفحات مستغرق طول پرش و عمق ثانویه را حداکثر به ترتیب 25 و 10 درصد کاهش می‌دهد. مانع‌دار شدن بستر در شرایط حاضر تنش برشی بستر را 12 برابر نسبت به بستر صاف افزایش خواهد داد که شرایط بهینه ذکر شده در ارتفاع 4/4 سانتی‌متر و زاویه 90 درجه رخ می‌دهد.

کلیدواژگان: حوضچه آرامش، پرش هیدرولیکی، صفحه‌های مستغرق، زاویه حمله، تنش برشی بستر.

1- مقدمه

گرفته بر روی پرش هیدرولیکی به منظور یافتن راه‌کارهایی برای به وقوع پیوستن پرش‌هایی با ابعاد کوچک‌تر انجام شده است. مهم‌ترین سازه‌های طراحی شده در این زمینه حوضچه‌های آرامش استاندارد هستند. تاکنون تحقیقات گسترده‌ای در مورد انواع حوضچه‌های آرامش انجام شده است و چند نوع از این حوضچه‌ها استاندارد شده که مشهورترین آنها حوضچه‌های آرامش USBR و حوضچه SAF است. نکته قابل توجه در مورد حوضچه‌های آرامش با توجه به بتنی بودن این سازه‌ها، ابعاد حوضچه است. پارامترهایی چون طول حوضچه و عمق پایاب مورد نیاز از جمله مشخصات مهمی هستند که بر اقتصادی‌تر کردن سازه حوضچه آرامش تأثیر فراوانی دارند. پرش

پرش هیدرولیکی پدیده‌ای است که در آن جریان در فاصله‌ای کوتاه از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی تغییر وضعیت می‌دهد. از این خاصیت پرش در مواقعی که نیاز به استهلاک انرژی آب می‌باشد، مانند جریان پای سرریزها و تندآب‌ها استفاده می‌شود (ایزدجو، 1383). امواج سطحی، آشفته بودن و سرعت بالای جریان در پرش هیدرولیکی باعث می‌شود تأسیسات آبی در محل پرش در معرض خطر تخریب و فرسایش قرار بگیرند. به همین دلیل لازم است این تأسیسات در محل پرش مقاوم‌سازی شوند که این موضوع باعث بالا رفتن هزینه‌های ساخت خواهد شد. از این رو بخش زیادی از تحقیق‌های انجام

دادند. از جمله موارد استفاده از صفحات مستغرق، به-کارگیری آن‌ها برای مواجهه با مسأله فرسایش و رسوب-گذاری در بستر و سواحل رودخانه است. ادگارد و کندی (1983) به ارائه طرح‌هایی در این مورد پرداخته و یک سیستم صفحات را برای مستقیم کردن رودخانه و جلوگیری از آبشستگی و کاهش تأثیر تخریبی جریان‌های ثانویه حاصل از نیروی گریز از مرکز، در ساحل قوس خارجی رودخانه ساکرامنتو در کالیفرنیا در محل قوس‌ها پیشنهاد دادند.

همان‌طور که بیان شد صفحات مستغرق کاربردهای متنوع و متفاوتی در کنترل آبشستگی و جلوگیری از فرسایش در سازه‌های مختلف هیدرولیکی داشته‌اند و ایده استفاده از صفحات مستغرق رو به گسترش است. تحقیق حاضر در امتداد پژوهش‌های انجام شده در زمینه بستر زبر، به بررسی تأثیر صفحات مستغرق بر خصوصیات پرش هیدرولیکی و توانایی این سازه در استهلاك انرژی خواهد پرداخت.

2- مواد و روشها

2-1- آنالیز ابعادی

به منظور بدست آوردن عوامل مؤثر بر تغییرات طول و عمق ثانویه پرش هیدرولیکی با استفاده از آنالیز ابعادی به بررسی ویژگی‌های پدیده مورد مطالعه پرداخته می‌شود. در تحقیق حاضر اگر y_1 و y_2 عمق فوق بحرانی و زیربحرانی پرش بر روی بستر زبر، u_1 سرعت متوسط جریان قبل از پرش، H ارتفاع صفحات و L_j طول پرش باشد، می‌توان رابطه (1) را نوشت:

$$L_j, y_2 = f_1(y_1, u_1, g, \mu, \rho, \theta, H) \quad (1)$$

که در این رابطه، g شتاب ثقل، ρ جرم مخصوص و μ لزجت آب است. بنابراین با توجه به تئوری باکینگهام:

$$\frac{L_j}{y_1}, \frac{y_2}{y_1} = f_2\left(\text{Re} = \frac{u_1 y_1}{\nu}, \text{Fr}_1 = \frac{u_1}{\sqrt{g y_1}}, \theta, \frac{H}{y_1}\right) \quad (2)$$

همچنین باتوجه به وجود جریان آزاد غیرقابل تراکم و

هیدرولیکی بر روی بستر صاف و افقی توسط محققان مختلفی مانند پترکا در سال 1958 و راجاراتنام در سال 1967 بررسی شده است.

اید و راجاراتنام (2002)، پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج‌دار سینوسی شکل را در بازه عدد فرود 4-10 و ارتفاع نسبی موج t/y_1 (ارتفاع موج بستر و y_1 عمق اولیه پرش) برابر 0/25، 0/43 و 0/5 بررسی نمودند. نتایج بررسی‌ها نشان داد که طول پرش تقریباً نصف طول آن روی بستر صاف است و میزان کاهش عمق ثانویه در بستر موج‌دار تقریباً برابر 25 درصد می‌باشد. توکیای (2005)، اثرات بستر موج‌دار را بر روی پرش هیدرولیکی به صورت تجربی بررسی نمود. شیب موج t/s برابر 0/1 و 0/2 بوده و مطالعات در محدوده اعداد فرود 5 تا 12 انجام گرفت. نتایج با اطلاعات موجود برای بسترهای موج‌دار و نیز پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای صاف، مقایسه شدند. در نهایت مشخص شد که عمق پایاب مورد نیاز برای تشکیل پرش و طول پرش بر روی بستر موج‌دار بطور محسوسی کوچک‌تر از مقادیر متناظر پرش‌ها بر روی بسترهای صاف است.

زمانی که پرش روی یک سطح صاف افقی نظیر بتن تشکیل می‌شود، می‌تواند به آسانی به سمت بالادست یا پایین‌دست تغییر محل دهد، مگر آن که به وسیله تأسیسات خاصی در محل نگهداری شده و کاهش طول یابد. صفحات مستغرق از جمله سازه‌هایی هستند که امروزه به منظور کنترل پرش مطالعه می‌شوند. استفاده از صفحه، اولین بار توسط ادگارد و ونگ (1987) برای کنترل آبشستگی کنار پایه استوانه‌ای مورد توجه قرار گرفت. قربانی و کلز (2008) با انجام یک گروه آزمایش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه ساسکاچوان کانادا، بر روی صفحه منفرد و دوگانه در زوایای حمله متفاوت، ارتفاعات متفاوت و شرایط مختلف جریان، پدیده آبشستگی را در کنار پایه‌های استوانه‌ای مورد بررسی قرار

دریچه‌ای وجود داشته که در تحقیق حاضر وظیفه این دریچه ایجاد پرش در فلوم در محل نصب صفحات می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری عمق جریان و پروفیل سطح آب از یک عمق سنج که از یک کولیس با دقت 0/2 میلی‌متر تشکیل شده استفاده گردید. سرعت جریان در طول پرش نیز با به‌کارگیری لوله پیتو قرائت شد. به منظور بررسی اثر صفحات مستغرق بر روی خصوصیات پرش، 4 نوع صفحه با ارتفاع 1/1، 2/2، 3/3 و 4/4 سانتی‌متر و ضخامت 1 سانتی‌متر از جنس پلاستیک فشرده بکار گرفته شد. این صفحات در 2 ستون 4 ردیفه به فاصله طولی 33 سانتی‌متر و فاصله عرضی 8 سانتی‌متر از هم در فلوم تعبیه شدند. همچنین زوایای 10، 20، 30 و 90 درجه به عنوان زاویه حمله صفحات برای بررسی اثر نحوه استقرار صفحات بر خصوصیات پرش در نظر گرفته شد.

2-3- روند و محدوده آزمایش‌ها

در آغاز، دامنه تغییرات عوامل مؤثر مورد نظر از قبیل دبی، عدد فرود و عمق اولیه جریان با توجه به محدودیت‌های موجود به کمک یکسری برداشت‌های مقدماتی تعیین شد. در آزمایش‌ها به ازای 4 مقدار دبی و 1 مقدار عمق اولیه اعمال شده در کانال پس از شکل‌گیری درست پرش، مقادیر طول پرش (L_j)، عمق ثانویه پرش (y_2)، و سرعت در طول پرش قرائت شد. دامنه تغییرات مقادیر دبی و عدد فرود به ترتیب بین 15 تا 30 لیتر بر ثانیه و 3/71 تا 7/42 و مقدار عمق اولیه پرش برابر با 2/2 سانتی‌متر بود.

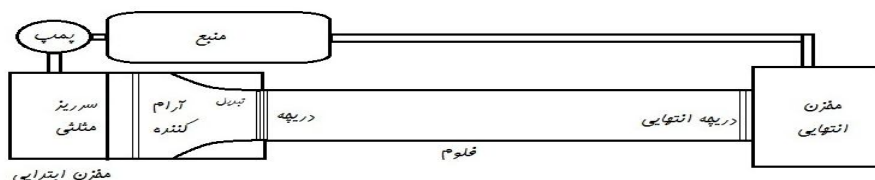
ضخامت ناچیز لایه مرزی می‌توان از تأثیرات تغییر جرم مخصوص و لزجت صرف‌نظر کرد که در نهایت رابطه (3) بدست می‌آید:

$$\frac{L_j}{y_1}, \frac{y_2}{y_1} = f_3(Fr_1, \theta, \frac{H}{y_1}) \quad (3)$$

طبق رابطه (3)، نسبت بی‌بعد طول به عمق اولیه پرش و عمق ثانویه به عمق اولیه پرش به عدد فرود در مقطع اولیه، زاویه حمله صفحات مستغرق و نسبت ارتفاع صفحه به عمق اولیه وابسته هستند.

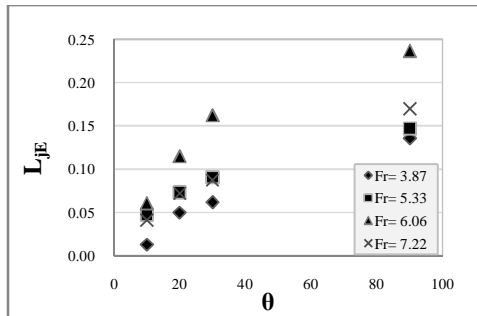
2-2- مدل فیزیکی

مدل فیزیکی به‌کار رفته در این پژوهش متشکل از یک فلوم به طول 12 متر، عرض و ارتفاع 40 سانتی‌متر، همراه با مخازن ابتدایی و انتهایی و منبع بود، به طوری که جریان پس از وارد شدن به مخزن ابتدایی و گذر از صفحه فلزی آرام‌کننده و سرریز مثلی و دریچه ابتدایی وارد فلوم گردیده و پس از طی مسیر فلوم، به مخزن انتهایی و منبع می‌ریزد و با استفاده از پمپ این چرخه دوباره طی می‌شود (شکل 1). به منظور تأمین دبی مورد نیاز از یک پمپ سانتریفوژ با ظرفیت 40 لیتر بر ثانیه استفاده شد. دبی اعمال شده در فلوم، با استفاده از سرریز مثلی با زاویه رأس 90 درجه اندازه‌گیری شده و تنظیم آن با استفاده از شیر پروانه‌ای انجام گرفت. برای قرائت ارتفاع آب روی سرریز از مانومتر نصب شده در کنار مخزن ابتدایی استفاده شد. همچنین ضریب سرریز فوق‌الذکر قبل از شروع آزمایش‌های اصلی با انجام یکسری آزمایش‌های فرعی کالیبره گردید. همان‌طور که ذکر شد در ابتدای فلوم

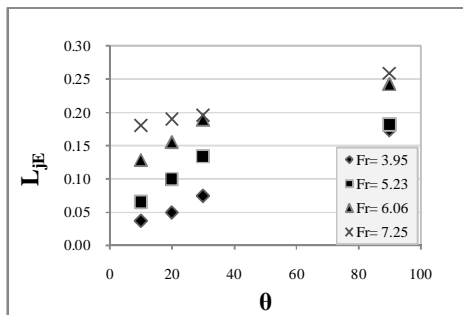


شکل 1 پلان مجموعه دستگاه آزمایش

ضریب کاهش طول پرش محاسبه شد.



الف - $H/y_1=1/5$



ب - $H/y_1=2$

شکل 2 تغییرات ضریب کاهش طول پرش در برابر زاویه حمله صفحات مستغرق

میزان تغییرات پارامتر مورد بحث در ارتفاع 1/1 سانتی متر بین 0/0743 تا 0/115، در ارتفاع 2/2 سانتی متر بین 0/111 تا 0/148 و در ارتفاعات 3/3 و 4/4 سانتی متر به ترتیب بین 0/136 تا 0/237 و 0/173 تا 0/259 قرار می-گیرد.

در مجموع می توان به این موضوع اشاره نمود که با استفاده از صفحات مستغرق با آرایش به کار برده شده در تحقیق حاضر، طول پرش حداکثر تا 25 درصد نسبت به بستر صاف کاهش می یابد. همچنین شکل 3 منحنی های ارائه شده توسط پترکا می باشد که در آن طول پرش بر روی حوضچه های آرامش نوع II، III، IV و SAF بر حسب عدد فرود اولیه قابل محاسبه است. همانطور که ملاحظه می شود، نتایج بدست آمده در تحقیق حاضر در

از آنجا که هدف پژوهش حاضر مقایسه رفتار پرش و خصوصیات آن در بستر زبر و صاف بود ابتدا 8 آزمایش شاهد برای 4 عدد فرود انجام گرفت و بعد از طی این روند، آزمایش های اصلی تحقیق آغاز شد.

3- نتایج و بحث

برای بررسی اثر صفحات مستغرق روی مهم ترین ویژگی های پرش مانند طول و عمق ثانویه پرش، در پژوهش حاضر، ضرایب کاهش طول پرش و کاهش عمق نسبی معرفی شده اند. همچنین برای کنترل هرچه بیشتر و بهتر پرش، نیازمند افزایش تنش برشی بستر در طول پرش می باشد که این مشخصه نیز با ضریب تنش برشی بستر ارزیابی شده است.

3-1- ضریب کاهش طول پرش

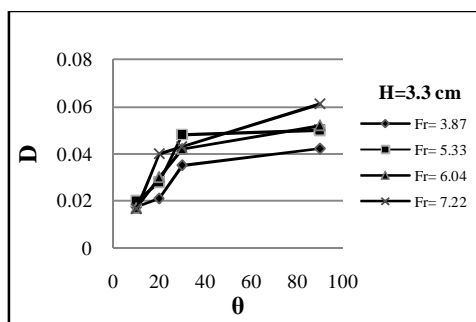
در تحقیق حاضر به منظور بررسی بهتر تأثیر صفحات بر روی طول پرش هیدرولیکی یا به عبارتی کمی نمودن آن ضریب کاهش طول پرش هیدرولیکی L_{jE} تعریف گردید. طبق این تعریف L_{jE} برابر است با:

$$L_{jE} = \frac{L_j^* - L_j}{L_j^*} \quad (4)$$

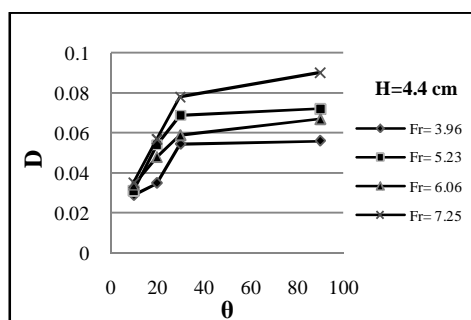
که در رابطه مذکور L_j^* طول پرش بر روی بستر صاف و L_j طول پرش در هر آزمایش می باشد. شکل 2 تغییرات ضریب کاهش طول پرش هیدرولیکی را در برابر زاویه انحراف در اعداد فرود متفاوت نشان می دهد.

همانطور که در شکل 2 مشاهده می شود این ضریب با افزایش زاویه حمله صفحات افزایش می یابد. به طوری که در زاویه 90 درجه بیشترین مقدار ضریب مذکور بدست می آید. با دقت در روند تغییر ارتفاع صفحات مستغرق مشاهده می شود که افزایش ارتفاع صفحات نیز تأثیر مستقیمی بر کاهش طول پرش خواهد داشت، یا به عبارت دیگر افزایش ارتفاع موجب افزایش ضریب کاهش طول پرش خواهد شد. در ادامه با استفاده از رابطه (4)، تغییرات

محدوده حوضچه نوع IV و II قرار می گیرد.

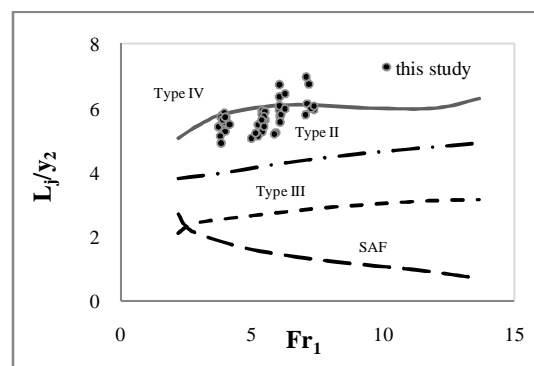


H=3.3 cm - الف



H=4.4 cm - ب

شکل 4 تغییرات ضریب کاهش عمق نسبی در برابر زاویه حمله صفحات مستغرق



شکل 3 مقایسه طول پرش هیدرولیکی مطالعه حاضر با حوضچه‌های USBR

2-3- ضریب کاهش عمق نسبی

به منظور بررسی مناسب اثر صفحات مستغرق بر اعماق پرش و میزان اختلاف اعماق مزدوج پرش روی بستر صاف و زبر از یک ضریب بدون بعد به نام ضریب کاهش عمق نسبی استفاده شده است. رابطه این ضریب به صورت رابطه (5) می‌باشد:

$$D = \frac{y_{co} - y_2}{y_{co}} \quad (5)$$

که در رابطه فوق y_2 عمق ثانویه پرش و y_{co} عمق ثانویه پرش در بستر صاف است. در شکل 4 تغییرات ضریب کاهش عمق نسبی (D) در برابر زاویه حمله صفحات مستغرق (θ), برای اعداد فرود مختلف نشان داده شده - است. در مجموع متوسط میزان ضریب کاهش عمق برای صفحات 1/1، 2/2، 3/3 و 4/4 سانتی‌متر به ترتیب بین 0/023 تا 0/053، 0/041 تا 0/057، 0/049 تا 0/079 و 0/078 تا 0/105 می‌باشد.

در مجموع با توجه به شکل 4 می‌توان گفت که ضریب کاهش عمق نسبی در زاویه حمله 90 درجه و ارتفاع 4/4 سانتیمتر بیشترین مقدار خود را خواهد داشت و این به معنای حداکثر استهلاک انرژی جریان خواهد بود.

3-3- ضریب تنش برشی بستر

تنش برشی بستر در پرش هیدرولیکی روی بستر موج‌دار با استفاده از رابطه مومتم تعیین می‌شود. معادله مومتم در بازه ابتدا و انتهای پرش هیدرولیکی به شکل زیر است:

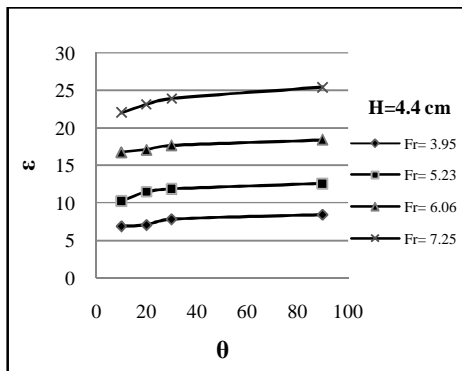
$$(M_2 + P_2 - S_2) = (M_1 + P_1 - S_1) - \int_{x_1}^{x_2} \tau_b dx \quad (6)$$

در این معادله P_1 ، M_1 ، P_2 ، M_2 ، S_1 ، S_2 به ترتیب نیروهای فشاری، مومتم و نیروهای تنش نرمال در واحد طول، در مقاطع قبل و بعد از پرش هیدرولیکی می‌باشند. با صرف نظر از نیروهای تنش نرمال در معادله فوق، مجموع نیروهای برشی بستر با استفاده از معادله (7) به دست می‌آید:

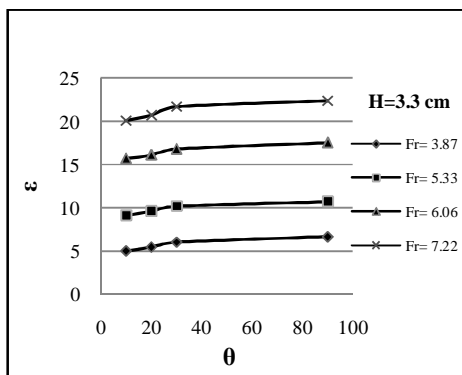
$$F_\tau = \int_{x_1}^{x_2} \tau_b dx = (P_1 - P_2) + (M_1 + M_2) \quad (7)$$

که در آن: $M_1 = \rho u_1^2 y_1$ ، $M_2 = \rho u_2^2 y_2$ ، $P_1 = 0.5\gamma y_1^2$ و $P_2 = 0.5\gamma y_2^2$ بوده و به ازای مقادیر عمق و سرعت در

روی بستر صاف قرار دارد و همچنین نمودارها با افزایش عدد فرود روند صعودی را طی می‌نمایند. همچنین با توجه به شکل و میدان عدد فرود، صفحات مستغرق پاسخ مناسبی به کنترل پرش و افزایش تنش برشی داده‌اند.



الف - H=4.4 cm



ب - H=3.3 cm

شکل 5 تغییرات ضریب تنش برشی بستر در برابر زاویه حمله صفحات مستغرق

3-4- رابطه طول پرش و عمق ثانویه با عوامل اثرگذار

با توجه به روند آنالیز ابعادی انجام شده و استفاده از نرم‌افزار آماری SAS، عدد فرود در عمق اولیه پرش، زاویه حمله صفحات مستغرق و نسبت ارتفاع صفحه به عمق اولیه پرش بر روی طول پرش و عمق ثانویه اثرگذارند.

به‌منظور برقراری رابطه بین این عوامل، داده‌ها به دو گروه

مقاطع قبل و بعد از پرش هیدرولیکی به دست می‌آید. در تحقیق حاضر برای بررسی تنش برشی و نحوه تغییر این پدیده در مدل آزمایشی، ضریب تنش برشی بستر ε به کار گرفته شده است. مقدار ضریب فوق در بسترهای صاف و موج‌دار از رابطه ارائه شده توسط اید و راجاراتنام (2002) قابل محاسبه خواهد بود:

$$\varepsilon = \frac{F_\tau}{\gamma y_1^2 / 2} \quad (8)$$

که در رابطه فوق F_τ تنش برشی بستر، y_1 عمق اولیه پرش و γ وزن مخصوص آب می‌باشد.

دلیل اصلی کاهش عمق پایاب (y_2) و طول پرش هیدرولیکی بر روی بستر زیر افزایش تنش برشی بستر می‌باشد. به منظور بررسی این موضوع، تنش برشی بستر در تمامی آزمایش‌ها محاسبه شد که نتایج آن نسبت به افزایش زاویه حمله برای هر صفحه مستغرق به ارتفاع است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، با افزایش زاویه حمله در اعداد فرود پایین، تنش برشی افزایش معنی‌داری نمی‌یابد، اما با تغییر شرایط هیدرولیکی و افزایش انرژی جریان یا بالا رفتن عدد فرود این پارامتر با افزایش چشم‌گیری روبرو می‌شود. مقادیر تنش برشی بر روی بستر زیر شده با صفحات مستغرق نسبت به تنش برشی بر روی بستر صاف به طور متوسط به ترتیب در صفحات 1/1، 2/2، 3/3 و 4/4 سانتی‌متر در شکل 5 نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، با افزایش زاویه حمله در اعداد فرود پایین، تنش برشی افزایش معنی‌داری نمی‌یابد، اما با تغییر شرایط هیدرولیکی و افزایش انرژی جریان یا بالا رفتن عدد فرود این پارامتر با افزایش چشم‌گیری روبرو می‌شود. مقادیر تنش برشی بر روی بستر زیر شده با صفحات مستغرق نسبت به تنش برشی بر روی بستر صاف به طور متوسط به ترتیب در صفحات 1/1، 2/2، 3/3 و 4/4 سانتی‌متری 8/55، 8/9، 10/1 و 12/03 برابر می‌باشد. نمودار شکل 6 به منظور بررسی صحت نتایج بدست آمده ارائه شده است که در آن نتایج تحقیق حاضر با نتایج محققان دیگر در تحقیقات مشابه مقایسه شده است. از آن‌جا که در زمینه اثر صفحات مستغرق بر پرش، تحقیقات کمی انجام شده، به ناچار نتایج، با نتایج تحقیقات در زمینه بستر زبر ممتد ارزیابی شد. همان‌طور که از نمودار مشخص است، نمودارهای تنش برشی بر روی بستر زبر بالای نمودار تنش برشی بر

برای بررسی میزان دقت روابط (9) و (10) نمودار شکل 7 که تغییرات نسبت طول پرش به عمق اولیه پرش و عمق ثانویه به عمق اولیه پرش محاسبه شده و مشاهده‌ای را نشان می‌دهد، ارائه شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود این نمودارها ضرایب تعیین 0/968 و 0/993 را به خود اختصاص داده‌اند که این میزان نشان‌دهنده دقت مناسب روابط است. میزان خطای برآورد رابطه ارائه شده نیز با استفاده از پارامتر خطای میانگین جذر مربعات (RMSE) محاسبه شد که رابطه آن به صورت (11) خواهد بود:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((observed_{value}) - (computed_{value}))^2} \quad (11)$$

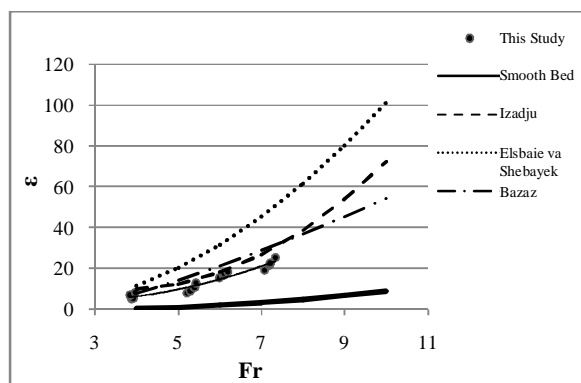
میزان محاسبه شده این پارامتر برای نسبت‌های طول پرش و عمق ثانویه به عمق اولیه پرش به ترتیب برابر با 3/2 و 0/18 می‌باشد که نشان‌دهنده دقت مناسب روابط ارائه شده خواهد بود.

متغیرهای مستقل و وابسته تقسیم شدند. برای محاسبه طول پرش، نسبت طول پرش به عمق اولیه پرش به عنوان متغیر وابسته و عدد فرود در عمق اولیه پرش، زاویه حمله صفحات مستغرق و نسبت ارتفاع صفحه به عمق اولیه پرش به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شدند. همچنین به منظور محاسبه عمق ثانویه نیز این عوامل به عنوان متغیر مستقل استفاده شدند. در ادامه با استفاده از مقادیر بدست آمده آزمایشگاهی برای پارامترهای بی‌بعد مؤثر و ایجاد رگرسیون غیرخطی، روابط بهینه مورد نظر برقرار شد که شکل مناسب آن‌ها با استفاده از روش حداقل مربعات باقی‌مانده به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{L_j}{y_1} = aFr_1^b + c(\sin \theta)^d + e\left(\frac{H}{y_1}\right)^f + g \quad (9)$$

$$\frac{y_2}{y_1} = aFr_1^b + c(\sin \theta)^d + e\left(\frac{H}{y_1}\right)^f + g \quad (10)$$

مقادیر ضرایب و توان‌های روابط ارائه شده با توجه به مدل فیزیکی طراحی شده در جدول 1 ذکر شده است.



شکل 6 مقایسه تغییرات ضریب تنش برشی بستر در برابر عدد فرود عمق اولیه در تحقیق حاضر و تحقیقات مشابه

جدول 1 ضرایب و توان‌های روابط (9) و (10)

رابطه	a	b	c	d	e	f	g
9	5/440319	16/82494	0/286714	-0/19901	-0/1969	2/680907	0/261
10	0/480683	0/035872	0/570892	-0/01388	0/716562	0/262441	3/21

نهایت باید به این موضوع اشاره نمود که این سازه در عین سادگی و هزینه پایین، در مقایسه با سازه‌های مشابه ذکر شده در تحقیق که با پیچیدگی‌های بالا و مشکلات در اجرا روبرو هستند قابلیت بسیاری در استهلاک انرژی در طول پرش برخوردار است.

5- فهرست علائم

Fr_1	عدد فرود در مقطع اولیه پرش
D	ضریب کاهش عمق نسبی
F_T	تنش برشی بستر
H	ارتفاع صفحات مستغرق
L_j	طول پرش
L_j^*	طول پرش روی بستر صاف
L_{jE}	ضریب کاهش طول پرش
y_1, y_2	عمق اولیه و ثانویه پرش
y_{co}	عمق ثانویه پرش در بستر صاف
ε	ضریب تنش برشی بستر
θ	زاویه انحراف صفحات مستغرق

6- منابع

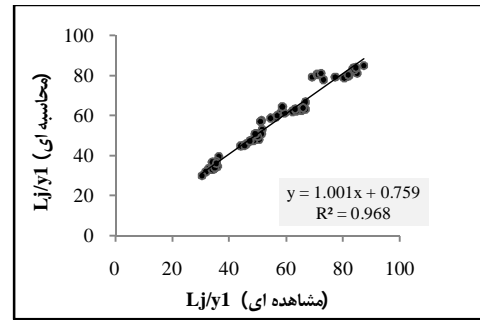
ایزدجو ف. (1383). تاثیر موج بودن بستر بر روی طول پرش و نوسانات زیر فشار در حوضچه‌های آرامش از نوع پرش هیدرولیکی، پایان‌نامه دکترای سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

بزاز م. (1390). بررسی اثر تغییرات طول و شکل زبری مثلثی در حوضچه آرامش بر خواص هیدرولیکی پرش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی آب گرایش سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

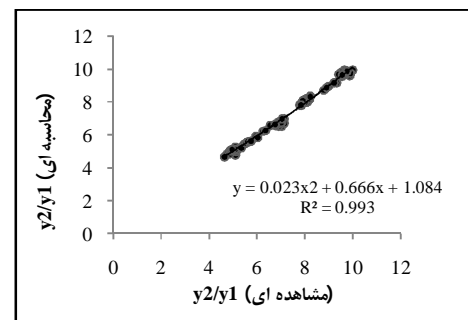
فرهودی ج. 1372. جریان در آبراهه‌های روباز، انتشارات دانشگاه ارومیه، ارومیه.

Ead S.A. and Rajaratnam N. (2002). Hydraulic jumps on corrugated bed, J. of Hydraulic Engineering 128(2), pp. 656-663.

Elsebaie I.H. and Shabayek Sh. (2010). Formation of hydraulic jumps on corrugated beds, Civil &



الف - طول پرش



ب - عمق ثانویه پرش

شکل 7 تغییرات نسبت طول و عمق ثانویه پرش به عمق اولیه پرش محاسبه شده و مشاهده‌ای

4- نتیجه گیری

تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر صفحات مستغرق در حوضچه‌های آرامش بر مشخصات پرش هیدرولیکی انجام گرفت. نتایج حاصل بیانگر آن بود که این صفحات در مقایسه با پرش کلاسیک می‌توانند باعث کاهش عمق پایاب مورد نیاز برای ایجاد پرش به مقدار 10 درصد گردند. همچنین در مقایسه با پرش هیدرولیکی روی بستر صاف نتایج نشانگر آن است که صفحات می‌توانند مقدار ضریب نیروی برشی در بسترهای زبر را تا حدود 12 برابر نسبت به بستر صاف افزایش دهند. طول پرش نیز در بهترین حالت با کاهش 25 درصدی روبرو خواهد شد. در این پژوهش صفحاتی که ارتفاع 4/4 سانتی‌متر داشته و با زاویه حمله 90 درجه در برابر جریان قرار گرفتند مؤثرترین مانع در کنترل و کاهش ابعاد پرش بوده‌اند. در

Peterka A. J. (1958). Hydraulic design of stilling basins and energy dissipaters, Engineering Monograph No. 25, U.S. Bureau of Reclamation, Denver. Seventh Printing.

Rjaratnam N. (1967). Hydrulic jump on rough bed, Trans. Eng. Inst. Canada 11:18.

Tokyay N.D. (2005). Effect of channel bed corrugations on hydraulic jumps. EWRI, Water & Environmental Resources Congress, Anchorage, Alaska, USA.

Wang Y., A. J. Odgaard and B.W. Melville. (1991). Sediment control at water intakes, J. Hydraul. Eng. ASCE 122(6), pp.353-359.

Environmental Engineering IJCEE-IJENS 10(1), pp.40-50.

Ghorbani B. and Kells J.A. (2008). Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier, Journal of Hydraulic Research, Vol. 46, No. 5, pp. 610-619.

Odgaard A.J. and Wang Y. (1987). Sediment management with submerged vanes, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 117, No. 3, pp. 267-283.

Odgaard A.J. and Kennedy J.F. (1983). River-bend bank protection by submerged vanes, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 109, No. 8 , pp. 1161-1173.