## **تاثیر بستر موج دار سینوسی بر خصوصیات پرش هیدرولیگی** اکرم عباسپور<sup>۱\*</sup>، علی حسین زاده دلیر<sup>۲</sup>، داود فرسادی زاده<sup>۲</sup> و علی اشرف صدرالدینی<sup>۲</sup>

تاریخ پذیرش: ۸۷/۷/۲۸ ۱- دانشجوی دکتری، سازههای آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز ۲- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز \*مسئول مکاتبه <u>E-mail:akabbaspour@yahoo.com</u>

چکیدہ

در این تحقیق بررسی تجربی پرش هیدرولیکی در محدوده وسیع تری نسبت به محققان دیگر بر روی 6 نوع بستر موج دار با شیب موج مختلف انجام گرفت. شیب موج در محدوده 2006 تا 2062 و عدد فرود در محدوده 3/8 تا 2/8 قرار داشت. تأثیر ارتفاع و طول موج بستر موج دار بر خصوصیات پرش هیدرولیکی در اعداد فرود مختلف با تحلیل موقعیت سطح آب، پروفیل سرعت، تنش برشی بستر و استهلاک انرژی بررسی شد. پارامترهای بی بعد هیدرولیکی نیز به صورت تابعی از عدد فرود تعیین گردید. نتایج نشان داد که عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موج-دار نسبت به بستر صاف در شرایط هیدرولیکی یکسان کوچکتر است. بررسی پروفیلهای سرعت اندازه گیری شده در مقاطع مختلف پرش هیدرولیکی نشان داد که این پروفیلها مشابه بوده و با پروفیل های سرعت اندازه گیری شده در میابشند. همچنین مقدار ضخامت لایه مرزی بی بعد بر روی بستر موج دار برابر 75/0 به دست آمد که با ضخامت لایه مرزی در بستر صاف برابر 2016 مقایسه گردید. بررسی و مقایسه نیروی برشی و ضریب تنش برشی نشان داد که مرزی در بستر صاف برابر 2010 مقایسه گردید. بررسی و مقایسه نیروی برشی و ضریب تنش برشی نشان داد که مرزی در بستر صاف برابر 2010 مقایسه گردید. بررسی و مقایسه نیروی برشی و ضریب تنش برشی نشان داد که مرزی در بستر موجدار حداقل 10 برابر بستر صاف است. نتایج این تحقیق با تایید نتایج محققان قبلی نشان می-دهد که از بسترهای موجدار برای استهلاک انرژی پرش هیدرولیکی در حوضچههای آرامش با کارایی بهتر میتوان استفاده نمود.

**واژههای کلیدی**: اتلاف انرژی، بستر موج دار، پرش هیدرولیکی، عدد فرود

## Effect of Sinusoidal Corrugated Bed on Hydraulic Jump Characteristics A Abbaspour<sup>1\*</sup>, A Hosseinzadeh Dalir<sup>2</sup>, D Farsadizadeh<sup>2</sup> and AA Sadraddini<sup>2</sup>

<sup>1</sup>PhD Student Water Structures, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran \*Corresponding author: <u>E-mail:akabbaspour@yahoo.com</u>

#### Abstract

In the present research, the experimental study of the hydraulic jump within a wide scope rather than those of other researchers was implemented on six corrugated beds with different wave steepness. The wave steepness of corrugations and the Froude number were in the range of 0.286 to 0.625 and 3.8 to 8.6, respectively. The effects of wave height and length of corrugations on the basic character of the hydraulic jump such as free surface location, velocity, shear stress distribution and energy dissipation were studied for different Froude numbers. The dimensionless hydraulic parameters were determined as functions of the Froude number. The results showed that the tailwater depth and the length of the jump on corrugated beds were smaller than those of the corresponding jump on a smooth bed. The analysis of velocity profiles at different sections of the jump showed that the velocity profiles were similar and differed from the profile of the simple plane wall jet. The normalized boundary layer thickness, was equal to 0.57 for the jumps on corrugated bed compared to 0.16 for the simple wall jet. The analysis and comparison of the bed shear force and shear stress coefficients showed that the shear stress on the corrugated bed was about 10 times greater than that of the smooth bed. The results of this study are in good agreement with the previous results and showed that the corrugated beds could be used to dissipate efficiently the excessive energy of the hydraulic jump in stilling basins.

Keywords: Corrugated bed, Energy dissipation, Froud number, Hydraulic jump

معمولاً جهت تثبیت پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش از بلوکها و آب پایه ها استفاده می شود. 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 محققان انجام گرفته است ( هیوز و فلک 1984).

محل تشکیل پرش هیدرولیکی باید مقاوم به فرسایش و کاویتاسیون باشد. به عبارت دیگر حوضچه آرامش ممکن است در اثر کاویتاسیون یا

www.SID.ir

سایش جریان آب تخریب شود. جهت جلوگیری از کاویتاسیون، بستر حوضچه باید صاف باشد و یا اجزای زبر طوری قرار گرفته باشد که تاج آنها هم تراز با کف بستر بالادست باشد (اید و همکاران 2000).

مطالعات اخیر توسط اید و همکاران (2000) در کالورت با بستر موجدار نشان میدهد که تنشهای برشی رینولدز بر روی بسترهای موج دار به وجود آمده و این مسئله کاهش قابل توجهی در میدانهای سرعت روی بستر را موجب میگردد. با توجه به اینکه تاج سطح موجدار هم تراز با کف کانال است بنابراین مشکل کاویتاسیون نیز تا حدودی برطرف میگردد.

اید و راجارتنام (2002) پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار سینوسی شکل را در بازه عدد فرود 10-4 و ارتفاع نسبی موج 1/y (t ارتفاع موج بستر و y1 عمق اولیه پرش) برابر 25/0، 4/30 و 0/5 بررسی نمودند. نتایج بررسی ها نشان داد که طول پرش تقریباً نصف طول آن روی بستر صاف است. همچنین تغییرات عمق ثانویه y2 با محاسبه کاهش عمق بدون بعد D به فرم \*y2 /(y2-y2) بررسی گردید که \*z عمق ثانویه پرش بر روی بستر صاف می باشد. نتایج نشان داد که عمق بدون بعد D در بستر موج دار تقریباً برابر 25/0 می باشد.

ایزدجو و همکاران (1383) مشخصات پرش هیدرولیکی روی بسترهای موج دار ذوزنقهای شکل را مطالعه کردند. مطالعات بر روی چهار بستر موج دار ذوزنقه ای شکل در بازه عدد فرود 4 تا 12 و مقادیر 1/y<sub>1</sub> در بازه 7/3/10 تا 1/733 و s/y<sub>1</sub> در بازه 7/9/01 تا 8/333 انجام گرفت. نتایج نشان داد که موج دار بودن بستر در استهلاک انرژی و کاهش هزینههای حوضچه آرامش تأثیر قابل توجهی دارد. توکیای (2005) اثرات بستر موج دار را بر روی پرش برابر 1/0، 2/0 و 20/0 بوده و مطالعات در محدوده اعداد فرود 5 تا 12 انجام گرفت. در این تحقیق تغییرات عمق ثانویه به عمق اولیه (y<sub>2</sub>/y<sub>1</sub>) به صورت تابعی از عدد فرود

اولیه Fr<sub>1</sub> بررسی گردید. همچنین طول و استهلاک انرژی پرش هیدرولیکی بررسی و دادههای تجربی موجود بر روی بسترهای موج دار و صاف مقایسه گردید.

با وجود مطالعات انجام شده در مورد پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار سینوسی در سال های اخیر، اثرات موج دار بودن بستر و شکل موج بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی به طور کامل بررسی نشده است. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر بستر موج دار سینوسی شکل بر روی مشخصات پرش هیدرولیکی در محدوده وسیع تری از شیب موج بستر (t/s) نسبت به تحقیقات قبلی و با ارتفاع نسبی موج 1/61 در بازه 20/0 تا 1/67 و 1/8 در بازه 2/85 تا 3/33 و مقایسه نتایج آن با مطالعات انجام گرفته در مورد پرش هیدرولیکی بر روی بستر صاف می باشد.

### مواد و روشها

### 1- تحليل ابعادي

مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج-دار تابعی از خصوصیات سیال، مشخصات فیزیکی بستر و شرایط هیدرولیکی جریان می باشد. عمق ثانویه پرش y2، در بسترهای موج دار به ارتفاع موج t، طول موج بستر S، شتاب ثقل زمین g، عمق اولیه y1 و سرعت اولیه جریان u1 بستگی دارد. پارامترهای موثر در پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار را به صورت تابع زیر می توان نشان داد (اید و راجاراتنام 2002).

 $y_2 = f_1(y_1, u_1, t, s, g, \mu, \rho)$ [2]

با استفاده از روش با کینگهام تابع زیر را میتوان بدست آورد.

$$\frac{y_2}{y_1} = f_2 \left( \text{Re, } Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{t}{y_1}, \frac{s}{y_1} \right)$$
[3]

در رابطه فوق Fr<sub>1</sub> عدد فرود اولیه و Re عدد رینولدز جریان میباشد. با صرفنظر کردن از اثر لزوجت با توجه به عدد رینولدز بالا رابطه (2) به صورت زیر ساده میگردد.

$$\frac{y_2}{y_1} = f_3\left(Fr_1, \frac{t}{y_1}, \frac{s}{y_1}\right)$$
[4]

در رابطه فوق  $\frac{1}{y_1}$  و  $\frac{c}{y_1}$  به ترتیب ارتفاع و طول مو $y_1$  بی بعد می باشند.

رابطه فوق به فرم زیرساده می گردد.  
= 
$$f_3\left(Fr_1, \frac{t}{s}\right)$$
[5]

که پارامتر t/s شیب موج بستر است و تاثیر موج بـستر بر روی پرش هیدرولیکی را نشان می دهد.

به طور مشابه طول پرش هیـدرولیکی L<sub>j</sub> بـا اسـتفاده از تحلیل ابعادی به فرم زیر است.

$$\frac{L_j}{y_2^*} = f_4\left(Fr_1, \frac{t}{s}\right)$$
[6]

2- بررسی تجربی

در این تحقیق آزمایش ها در یک فلوم مستطیلی به عرض 0/25 متر ارتفاع 0/4 متر و طول 10 متر با شیب کف 0/002 انجام گرفت. کانال مجهز به دریچه تنظیم جریان در ابتدای ورودی کانال و سرریز لبه تیز مثلثی با زاویه 53 درجه برای اندازهگیری دبی جریان در خروجی فلوم است. اندازهگیری عمق و دبی جریان با استفاده از حس گرهای

التراسونیک در قسمت های مختلف کانال انجام گرفت که داده ها با استفاده از نرم افزار Visi DAQ قابل نمایش و ذخیره بر روی کامپیوتر است. در این تحقیق دقت اندازه گیری عمق آب 0/1 میلی متر و دبی جریان 0/1 لیتر بر ثانیه است.

برای ایجاد جریان فوق بحرانی و عمق اولیه پرش y<sub>1</sub> از یک دریچه کشویی قابل تنظیم استفاده گردید. بـا توجه به اینکه دیواره کانال بلافاصله پس از دریچـه، شیشه ای نمی باشد لـذا امکـان انـدازه گیـری پروفیـل های عمق و سرعت وجود نداشت. دیواره های کانال در فاصله دو متری از دریچه کشویی شیشه ای است در نتیجه بستر موج دار در فاصله 2 متـری از دریچـه نصب گردید و عمق اولیه پرش در فاصله تقریبا 0/5 متری بالادست بستر مرج دار (ابتدای پرش هیدرولیکی ) اندازه گیری شد. ورقهای موج دار سينوسي به ابعاد مختلف مطابق جدول 1 در كف کانال نصب شد. به طوری که کف کانال در محل بستر مـوج دار بـصورت افقـی بـود. طـرح شـماتیک پـرش هیدرولیکی بر روی بستر مـوج دار در شـکل 1 نـشان داده شده است. پرش هیدرولیکی با اعداد فرود مختلف Fr1 بر روی بسترهای موج دار ایجاد و مشخصات يرش برای 100 آزمون اندازه گيري شد. مشخصات هندسی و هیدرولیکی بخشی از آزمون ها در جدول 1 ارائه شده است.



<u>y</u><sub>2</sub>

 $y_1$ 

تاثیر بستر موج دار سینوسی بر خصوصیات پرش هیدرولیکی

			1.	• • •	•				
L <sub>j</sub> (m)	y <sub>2</sub> (m)	y <sub>1</sub> (mm)	$u_1$ (ms <sup>-1</sup> )	q (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	$Fr_1$	t (mm)	S (mm)	نوع بستر	آزمون
0/85	0/171	22	3/36	0/074	7/2	15	40	Ι	A <sub>1</sub>
0/7	0/209	33	3/3	0/109	5/8	15	40	Ι	$A_2$
0/53	0/207	45,5	4/55	0/121	4	15	40	Ι	$A_3$
0/75	0/193	22/5	3/8	0/085	8/1	20	40	II	$\mathbf{B}_1$
0/65	0/209	35	3/05	0/106	5/2	20	40	II	$B_2$
0/9	0/273	45	3/48	0/157	5/2	20	40	II	B3
0/7	0/15	20	3	0/06	6/8	25	40	III	$C_1$
0/71	0/19	30/5	2/83	0/086	5/2	25	40	III	$C_2$
0/73	0/211	40	2/76	0/110	4/4	25	40	III	C3
0/55	0/155	24	2/82	0/068	5/8	20	70	IV	$D_1$
0/74	0/238	35	3/71	0/13	6/3	20	70	IV	$D_2$
0/65	0/212	40	3/2	0/128	5/1	20	70	IV	$D_3$
0/64	0/162	21/5	3/29	0/071	7/2	25	70	V	$E_1$
0/66	0/206	33	3/42	0/11	6/1	25	70	V	$E_2$
0/6	0/227	44	3/09	0/136	4/7	25	70	V	$E_3$
0/72	0/173	20	3/42	0/068	7/7	35	70	VI	$F_1$
0/7	0/197	33	2/97	0/098	5/2	35	70	VI	$F_2$
0/66	0/214	39	2/88	0/112	4/7	35	70	VI	$F_3$

جدول 1- مشخصات پرش هیدرولیکی در آزمو ن های انجام شده بر روی بسترهای موج دار

در این تحقیق پروفیل سطح آب در طول کانال توسط عمق سنج با دقت 1/1 میلیمتر و در فواصل 10-5 سانتی-متری اندازهگیری شده است. پروفیل طولی سرعت با استفاده از سرعت سنج پرهای میکرو به قطر 6 میلی متر با دقت 1/1 سانتیمتر بر ثانیه در عمقهای مختلف اندازهگیری گردید. همچنین در همه آزمایشها عمق اولیه جریان 1/1، عمق ثانویه 2/2، طول پرش زL و عمق پایاب y ثبت شد. عمق پایاب در فلوم نیز با استفاده از دریچه آزمایش طوری تنظیم می شد که پرش هیدرولیکی در ابتدای بستر موجدار به فاصله 6 متر در بالادست دریچه انتهایی تشکیل گردد.

### نتايج و بحث

برای بررسی پرش هیدرولیکی بر روی بستر مـوج دار مشخصات آن، شامل پروفیل سطح آب، طول پرش، پروفیل

های سرعت در مقاطع مختلف پرش و تنش برشی بستر ارزیابی گردید. در این تحقیق شیب موج بستر t/s در محدوده 0/286 تا 0/625 و اعداد فرود در محدوده 3/6 تا 8/6 قرار داشت.

1- پروفيل سطح آب

از پروفیل های های سطح آب بـرای تعیـین عمـق اولیه y<sub>1</sub>، عمق ثانویه y<sub>2</sub> و طول پرش هیـدرولیکی L<sub>j</sub> استفاده شد. در شکل 2 پروفیلهـای سـطح آزاد آب در آزمونهای مختلف نمایش داده شده است.

در شکل 3 پروفیل های بدون بعد سطح آب در پرش هیدرولیکی برای تمامی آزمون ها رسم شده است. این شکل نشان میدهد پروفیل های سطح آب مشابه یکدیگر میباشند و یک منحنی متوسط را برای پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی میتوان ارانه نمود.

# Archive of SID

### مجله دانش آب و خاک/ جلد ۱۹ شماره ۱/ سال ۱۳۸۸



شکل 2- پروفیل های سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موج دار



شکل 3- پروفیل های بدون بعد سطح آب در پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موجدار

$$\frac{y_2}{y_1} = Fr_1$$
[8]  

$$\frac{y_2}{y_1} = 1.1223 Fr_1 + 0.0365$$
[9]  

$$\frac{y_2}{y_1} = 1.047 Fr_1 + 0.5902$$
[10]

همچنین در شکل 4 عمق نسبی پرش بر روی بستر موجدار با مقادیر عمق نسبی بستر صاف (معادله بلانگر) مقایسه شده است. نتایج نشان میدهد که عمق پایاب پرش هیدرولیکی در بستر موجدار کمتر از بستر صاف میباشد.

پـارامتر کـاهش عمـق نـسبی D توسـط ایـد و راجاراتنام (2002) بفرم زیر ارائه شده است.

$$D = \frac{y_2^* - y_2}{y_2^*}$$
[11]

در این رابطه  $y_2^*$  عمق ثانویه پرش در بستر صاف به ازای عمق اولیه y<sub>1</sub> و عدد فرود اولیه Fr<sub>1</sub> یکسان با بستر موج دار می باشد. درشکل 5 تغییرات مقادیر کاهش عمق نسبی D به ازای اعداد فرود نمایش داده شده است. مطابق این شکل در محدوده اعداد فرود 3/6 تا 8/6 و شیب موج بستر D محدوده اعداد فرود 3/6 تا 8/6 و شیب می مق نسبی D برابر 20 است که مقدار قابل توجهی می باشد. 2- نسبت عمق ثانويه به عمق اوليه پرش

y₂/y₁ توجه به رابطه 5 عمق نسبی پرش هیدرولیکی y₂/y₁ تابعی از عدد فرود اولیه جریان Fr₁ و شیب موج بستر x/s مطابق می باشد. جهت بررسی تاثیر شیب موج بستر x/s، مطابق شکل 4 نمودار عمق نسبی پرش y₂/y₁ به ازای اعداد فرود اولیه رسم شده است. شکل 4 نشان می دهد که در بازه شیب موج بستر 20/62≥ t/s ≥0/625 مقادیر عمق نسبی پرش تابعی از عدد فرود اولیه می باشد و به شیب موج بستر بستگی ندارد. این مسئله ناشی از این است که تاج سطح موجدار هم تراز با کف کانال است و بستر موج دار مانند حفره عمل می کند.

رابطه بین عمق نسبی پرش هیدرولیکی و عدد فرود در بستر موج دار با استفاده از رگرسیون خطی بررسی شد و رابطه 7 با ضریب تبیین 0/91 بدست آمد. این رابط ه در مقایسه با رابط ه 8 (اید و راجاراتنام 2002)، رابط ه 9 توکیای 2005) و رابط ه 10 (ایزدجو و همکاران 1383) اختلاف کمی را نشان می دهد. مقایسه روابط فوق نشان می دهد که عمق نسبی پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج دار با بررسی های تجربی محققان قبلی تطابق خوبی دارد.

$$\frac{y_2}{y_1} = 1.1146 \ Fr_1$$
 [7]



شکل 4- تغییرات عمق نسبی پرش هیدرولیکی نسبت به اعداد فرود اولیه



شکل 5- تغییرات مقدار کاهش عمق نسبی پرش هیدرولیکی نسبت به اعداد فرود اولیه

3- طول نسبی پرش ہیدرولیکی

جهت بررسی طول پرش هیدرولیکی بر روی بستر های موجدار، طول پرش زL اندازهگیری شده و با استفاده از مقادیر محاسباتی عمق ثانویه  $y_2^*$  بدون بعد گردید. در شکل 6 مقادیر طول نسبی پرش  $y_2^*$  بازای اعداد فرود ولیه نمایش داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که به ازای اعداد فرود کمتر از 6 نسبت  $y_2^*$  /زL در حدود 3 و به ازای اعداد فرود بالاتر از 6 نسبت  $y_2^*$  /زL در حدود 3 و به ازای اعداد فرود بالاتر از 6 نسبت  $y_2^*$  /زL در در درسیهای است. طول نسبی پرش هیدرولیکی  $y_2^*$  /زL در بررسیهای اید و راجاراتنام (2002) و ایزدجو و همکاران (2003) برابر 4 بدست آمده است. بنابراین مقدار طول نسبی پرش هیدرولیکی بر روی بستر موجدار با بررسی های تجربی

محققان قبلی همخوانی دارد. همچنین می توان نتیجـه گرفت که طول پـرش بـر روی بـستر مـوج دار تقریبـاً نصف طول پرش بر روی بستر صاف است.

### 4-اتلاف انرژی

اتلاف انرژی در پرش هیدرولیکی E<sub>L</sub> برابر با اختلاف انرژی مخصوص قبل و بعد از پرش هیدرولیکی E<sub>2</sub>-E<sub>1</sub> می باشد. در شکل 7 اتلاف انرژی نسبی E<sub>L</sub>/E<sub>1</sub> به ازای اعداد فرود مختلف رسم شده است. در این تحقیق اتلاف انرژی نسبی در بستر صاف نیز تعیین گردید. که نمودار آن در شکل 7 نشان داده شده است. مطابق این نمودار به ازای عدد فرود یکسان اتلاف انرژی در بسترهای موج دار بیشتر از بسترهای صاف است.

www.SID.ir

تاثیر بستر موج دار سینوسی بر خصوصیات پرش هیدرولیکی





شکل 7- تغییرات اتلاف انرژی نسبی پرش هیدرولیکی در بسترهای موج دار به ازای اعداد فرود اولیه

در این رابطه  $E_L^*$  اتـلاف انـرژی پـرش هیـدرولیکی در بستر صاف و  $E_L$  اتلاف انرژی در بستر موج دار بـه ازای عمق و عدد فرود اولیه یکسان می باشد. در شکل 8 تغییرات نرخ اتلاف انرژی پرش هیدرولیکی به ازای اعداد فرود اولیه نشان داده شده است. نتـایج نـشان مـی دهـد کـه نـرخ افت انرژی پرش هیدرولیکی در بسترهای مـوج دار بـا افـزایش عدد فرود کاهش می یابد 5- پروفیلهای سرعت در این تحقیق پروفیـل هـای سـرعت در 20 آزمـون پـرش هیدرولیکی بر روی بـستر مـوج دار اندازه گیـری شـد. در

شـکل 9 پروفیل هـای انـدازه گیـری شـده در مقـاطع مختلف پرش نمایش داده شده است. در این پروفیل ها تغییرات سرعت به صورت جت دیواره است به طوری که با افزایش فاصله از ابتدای پرش لایـه مـرزی رشـد نموده و سرعت حداکثر کاهش می یابد. ~

## Archive of SID

مجله دانش آب و خاک/ جلد ۱۹ شماره ۱/ سال ۱۳۸۸



شکل 8- تغییرات نرخ اتلاف انرژی پرش هیدرولیکی به ازای اعداد فرود اولیه



شکل 9- پروفیل های سرعت در طول پرش هیدرولیکی مربوط به آزمون های A<sub>2</sub>, B<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, D<sub>3</sub>, E<sub>1</sub>, F<sub>1</sub>

۲۲

www.SID.ir



شکل 10- پروفیل های بی بعد سرعت در طول پرش

جهت بررسی تشابه پروفیلهای سرعت مقیاس طولی  $d_{y}$  جهت بررسی تشابه پروفیلهای سرعت مقیاس طولی  $\frac{\partial u}{\partial y}$  تعیین برابر مقادیر Y در شرایط  $0/5u_1$  و  $u_m = 0/5u_1$  تعیین گردید. به عبارت دیگر d عمق آب در مقاطع مختلف پرش است که در آن سرعت حداکثر  $u_m$  با نصف سرعت اولیه  $u_1$  برابر است. در شکل 10 پروفیلهای بدون بعد سرعت لولیه  $u_1$  برای 20 آزمون نشان داده شده است. مطابق شکل پروفیلهای سرعت در امتداد پرش هیدرولیکی مشابه می بروفیلهای سرعت اندازه باشند ولی با پروفیل های سرعت اولیه  $u_1$  در محدوده S = -26 و بستر محاف مختلف محتاف و سرعت اندازه میر مید ولیه ای سرعت اندازه می محدوده  $u_1$  در محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_1$  می محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_1$  و محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_1$  و محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_1$  و محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_1$  و محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_1$  و محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_2$  و محدوده  $u_1$  و محدوده  $u_2$  و  $u_1$  و  $u_2$  و  $u_2$  و  $u_2$  و  $u_3$  و  $u_4$  و  $u_2$  و  $u_1$  و  $u_2$  و  $u_2$  و  $u_3$  و  $u_4$  و  $u_2$  و  $u_2$  و  $u_3$  و  $u_4$   $u_4$  و  $u_4$   $u_4$  و  $u_4$  و  $u_4$  و  $u_4$   $u_4$ 

 $x/y_1$  و  $x/L_j$  در شکل 11 و 12 تغییرات  $u_m/u_1$  به ازای  $x/L_j$  و  $1/u_m$  در شده است. مطابق این شکل f داده ها به صورت پراکنده بوده، بنابراین از مقیاس طولی L، فاصله طولی از ابتدای پرش با  $u_m=0/5u_1$  استفاده گردید. در شکل 13 تغییرات  $u_m/u_1$  به ازای مقیاس طولی بی بعد x/L نشان داده شده است. مقیاس طولی L در بررسی پرش بر روی بسترهای صاف توسط (اید و راجاراتنام 2002) استفاده گردید. با توجه به شکل 13 مقادیر سرعت بدون بعد  $u_m/u_1$ 

به ازای x/L وابستگی بالایی داشته و با افزایش x/L اختلاف آن با مقادیر بستر صاف بیشتر می گردد.

شکل 14 تغییرات مقیاس طولی بی بعد b به ازای فواصل مختلف x را نشان می دهد. رابطه رگرسیون خطی b/y1 و x/y1 در بسترهای موج دار و صاف به ترتیب به فرم زیر است.

$$\frac{b}{y_1} = 0.168 \left(\frac{x}{y_1}\right) + 0.88 \quad (r^2 = 0.83)$$
 [13]

$$\frac{b}{y_1} = 0.07 \left(\frac{x}{y_1}\right) + 1.25$$
 (r<sup>2</sup>=0.78) [14]

ضخامت لایه مرزی  $\delta$  در هر مقطع از پرش هیدرولیکی برابر عمقی است که در آن سرعت ماکزیمم است. شکل 15 و 16 تغییرات مقادیر ضخامت لایه مرزی بی بعد  $\delta/y_1$  و  $\delta/\delta$  به ازای x/y<sub>1</sub> نمایش داده شده است. روابط زیر برای ضخامت لایه مرزی بی بعد در امتداد طولی پرش



 $x/L_j$  شکل 11-تغییرات  $u_m/u_1$  به ازای



شکل 12-تغییرات u<sub>m</sub>/u<sub>1</sub> به ازای x/y<sub>1</sub>



شکل 13-تغییرات u<sub>m</sub>/u<sub>1</sub> به ازای x/L









 $x/y_1$  شکل 16- تغییرات ضخامت لایه مرزی بی بعد d/b به ازای

هيدروليكى تعيين شد. ضخامت لايه مرزى بى بعد  
مى باشد  
$$\frac{d}{y_1} = 0.078 \left( \frac{x}{y_1} \right) + 0.73$$
 (<sup>r2</sup>=0.7) [15]  
 $\frac{d}{b} = 0.57$  [16]

6- تنش برشی بستر

تنش برشی بستر در پرش هیدرولیکی روی بستر موج دار با استفاده از رابطه مومنتم تعیین میشود. معادله مومنتم در بازه ابتدا و انتهای پرش هیدرولیکی به فرم زیر است.

$$(M_2 + P_2 - S_2) = (M_1 + P_1 - S_1) - \int_{x_1}^{x_2} t_b dx \quad [17]$$

در این رابطه P<sub>1</sub> ،P<sub>2</sub> ، M<sub>1</sub> ،P<sub>2</sub> و S<sub>2</sub> به ترتیب نیروهای فشاری، مومنتم و نیروهای تنش نرمال در واحد طول در مقاطع قبل و بعد از پرش هیدرولیکی است. با صرفنظر نمودن از نیروهای تنش نرمال در رابطه 17، مجموع نیروهای برشی بستر با استفاده از رابطه زیر به دست می آید (کان و اشتفلر 1996).

$$F_t = \int_{x_1}^{x_2} t_b dx = (P_1 - P_2) + (M_1 - M_2)$$
 [18]

 $P_2 = 0.5g y_2^{2} P_1 = 0.5g y_1^{2}$  در رابط فوق  $M_1 = r u_2^{2} y_1$  و  $M_1 = r u_1^{2} y_1$  بوده و به ازای  $M_1 = r u_1^{2} y_1$  مقادیر عمق و سرعت در مقاطع قبل و بعد از پرش

هیدرولیکی به دست می آید.

مقدار ضریب نیروی برشی ع در بستر مـوج دار و صاف از رابطـه زیـر قابـل ارزیـابی اسـت. (ایـد و راجاراتنام 2002).

$$e = \frac{F_t}{g y_1^2 / 2}$$
[19]

نمودار ضریب نیروی برشی به ازای اعداد فرود اولیه در شکل 17 نمایش داده شده است. ضریب نیروی برشی در بستر موج دار از رابطه رگرسیونی 20 تعیین گردید و با نتایج تحقیقات راجاراتنام در

تاثیر بستر موج دار سینوسی بر خصوصیات پرش هیدرولیکی

- ۲. نتایج نشان می دهد که به ازای عمق اولیه و عدد فرود معین عمق ثانویه پرش بر روی بستر موج دار در محدوده اعداد فرود 3/6 تا 8/6 و شیب موج بستر 20/625 t/s≥ 0/625در حدود 20 % کمتر از بستر صاف است.
- 2. به ازای اعداد فرود کمتر از 6 نسبت y<sub>2</sub> y<sub>2</sub> در حدود 3 و به ازای اعداد فرود بیشتر این نسبت 3/5 می باشد. همچنین در مقایسه با نتایج تحقیقات انجام گرفته بر روی بسترهای صاف مقدار طول پرش در بسترهای موج دار تقریباً نصف بستر صاف می باشد.
- سـال 1995 (بـه نقـل از ايـد و راجاراتنـام 2002) بـر روى بستر صاف به صورت معادله 21 مقايسه شد.  $e = 1.1Fr_1^2 - 2.4Fr_1 + 1$  (<sup>r2</sup>=0.93) [20]  $e = 0.16Fr_1^2 - 0.8Fr_1 + 1$  (<sup>r2</sup>=1) [21] با توجه به اين شكل مى توان نتيجـه گرفـت كـه ضـريب

نیروی برشی در بسترهای موج دار حداقل 10 برابر بستر صاف است. که با نتایج تحقیقات اید و راجاراتنام (2002) و ایزدجو و همکاران (1383) همخوانی دارد.

### نتيجه گيرى

در ایــن تحقیــق تــاثیر بــستر مــوج دار بــر روی پــرش هیـدرولیکی مـورد بررســی قــرار گرفـت. نتــایج تحقیـق بــه صورت خلاصه در زیر ارائه می گردد.



شکل 17- مقایسه تغییرات ضریب نیروی برشی ع در بستر موجدار و صاف

- ۲. اتلاف انرژی در بسترهای موج دار بیشتر از بسترهای صاف است. با افـزایش عـدد فـرود نـرخ افـت انـرژی G کاهش می یابد.
- 4. پروفیلهای سرعت درمقاطع مختلف پرش هیدرولیکی روی بسترهای موج دار مشابه بوده ولی این پروفیل ها با پرش هیدرولیکی در بستر صاف مقداری متفاوت می باشد.بر اساس روابط بدست آمده، مقیاس طولی بی بعد b/y<sub>1</sub> در بستر موجدار در مقایسه با بستر صاف نرخ افزایش بیشتری را نشان می دهد.
- 5. ضخامت لایه مرزی بی بعد δ/b در بستر های موج دار برابر 0/57 به دست آمد که این مقدار در پرش بر روی بستر صاف برابر 0/16 می باشد.
- 6. مقادیر ضریب نیروی برشی ع در بسترهای موج دار به ازای عدد فرود 4 در حدود 10 برابر بستر صاف است. با افزایش عدد فرود ضریب نیروی برشی در مقایسه با بستر صاف افزایش بیشتری را نشان می دهد.

سپاسگزاری

78

اعتبارات پژوهشی دانشگاه اجرا شده است. بدین وسیله از حمایت مالی دانشگاه تبریز تشکر و قدردانی میگردد.

ایـن مقالـه مـستخرج از گـزارش نهـایی طـرح پژوهـشی بـه شماره 27/1236/د مـورخ 87/2/31 مـیباشـد کـه از محـل

منابع مورد استفاده

ایزدجو ف، شفاعی بجستان م و بینا م، 1383. مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موجدار ذوزنقهای شکل. مجله علمی کشاورزی، جلد 27، دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحههای 107 تا122.

- Ead SA and Rajaratnam N, 2002. Hydraulic jump on corrugated bed. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 128(7): 656-663.
- Ead SA, Rajaratnam N, Katopodis C and Ade F, 2000. Turbulent open-channel flow in circular corrugated culverts. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE 126(10): 750-757.
- Hughes WC and Flack JE, 1984. Hydraulic jump properties over rough bed. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 110(12): 1751-1771.
- Khan AA and Steffler PM, 1996. Physically based hydraulic jump model for depthaveraged computation. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 122(10): 540-548.
- Mohammad Ali HS, 1991. Effect of roughened-bed stilling basin on length of rectangular hydraulic jumps. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE,117(1): 83-93.
- Tokyay ND, 2005. Effect of channel bed corrugations on hydraulic jumps. EWRI, Water & Environmental Resources Congress, Anchorage, Alaska, USA.
- Vischer DL and Hager WH, 1995. Energy dissipators. Hydraulic Structures Design Manual, IAHR.