

# بررسی آزمایشگاهی اثر موقعیت پرش هیدرولیکی بر تغییرات سرعت در حوضچه‌های آرامش تیپ ۲

منوچهر فتحی مقدم<sup>۱</sup> و احسان پارسی<sup>۲\*</sup>

۱- استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- نویسنده مسئول: دانشجوی دکتری سازه های آبی، دانشگاه علوم و تحقیقات خوزستان

تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۹

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۹

## چکیده

شرایط هیدرولیکی حوضچه آرامش به خصوص میزان دبی عبوری از سرریز و شوت و همچنین محل تشکیل پرش هیدرولیکی نقش به‌سزایی بر روی نوسانات سرعت جریان در حوضچه آرامش دارد. در این تحقیق اثر جابه‌جایی محل تشکیل پرش هیدرولیکی و میزان دبی بر نوسانات سرعت جریان مورد ارزیابی قرار گرفت. آزمایش‌ها بر روی مدل سد گلابر با مقیاس ۱:۳۰ در چهار دبی ۲۲۱/۷، ۳۵۵/۸، ۴۵۰ و ۵۹۲/۹ متر مکعب بر ثانیه انجام شد. مقادیر دبی جریان شامل دبی ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ساله می‌باشد. با اندازه‌گیری مقادیر سرعت جریان در مقاطع مختلف کف حوضچه و مقایسه آن‌ها مشاهده شد که بیشترین مقدار سرعت و استهلاک انرژی در دبی ۳۵۵/۸ متر مکعب بر ثانیه و موقعیت پرش هیدرولیکی روی شوت بلوک‌ها می‌باشد. همچنین نتایج نشان دادند که در دبی ۳۵۵/۸ متر مکعب بر ثانیه سرعت جریان بعد از پرش تقریباً با کاهش ۹۳ درصدی نسبت به سرعت اولیه پرش مواجه می‌شود.

کلید واژه‌ها: پرش هیدرولیکی، حوضچه آرامش، سرعت جریان، عمق پایاب، استهلاک انرژی.

## Experimental Investigation of the Effect of Hydraulic Jump Location on Flow Velocity in Type II Stilling Basin

M. Fathi Moghadam<sup>1</sup> and E. Parsi<sup>2</sup>

1- Professor of Water Science Engineering Faculty, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran

2- Ph.D. Student, Hydraulic Structure, Olum Tahghighat University of Khuzestan, Iran

Received: 29.Jan.2011

Accepted: 29. April.2013

## Abstract

Hydraulic condition of stilling basin, in particular, the flow rate passing through chute spillway, as well as the location of hydraulic jump plays an important role on velocity fluctuations in a stilling basin. In this study, effects of the hydraulic jump location and flow discharge in stilling basin on the velocity fluctuations are evaluated. The experiments were performed in a 1:30 scale model of Glabar Dam spillway for discharges of 221.7, 355.8, 450 and 592.5 (m<sup>3</sup>/s). The discharges ranges are for 1,000 to 10,000 years return period. The flow velocities in different locations inside of stilling basin have been measured near the wall and centre of basin. The experiment results show that flow velocity fluctuations are considerably affected by the discharge and the location of the hydraulic jump. The most energy lost was in discharge 355.8 (m<sup>3</sup>/s) where jump was on the shut blocks. The lost was nearly 93% after the jump compared to the energy before the jump.

**Keyword:** Hydraulic Jump, Stilling Basin, Flow Velocity, Tail Water, Energy lost.

## مقدمه

حوضچه آرامش عبارت است از قسمت کوتاهی از یک کانال کف سازی شده که به صورت سازه‌ای خاص در انتهای سرریزها یا هر منبع دیگری که جریان فوق بحرانی ایجاد کند، ساخته می‌شود و هدف از ساختن آن به تشکیل پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه آرامش خلاصه می‌شود. بلوک‌های تند آب که در ابتدای حوضچه ساخته می‌شوند، باعث می‌شوند که بخشی از آب در یک صفحه قائم پخش گردد. در نتیجه گرداب‌های بیشتری به وجود آید و میزان کاهش انرژی افزایش یابد. همچنین این بلوک‌ها طول حوضچه را کاهش داده و تشکیل پرش را در حوضچه تثبیت می‌کنند. بنابراین جریان فوق بحرانی، قبل از رسیدن به قسمت‌های غیرکف سازی شده رودخانه به جریان زیربحرانی تغییر حالت داده و از انرژی فوق العاده آن کاسته و از خرابی‌های احتمالی جلوگیری می‌گردد.

هر حوضچه آرامش باید در شرایط مختلف پایاب و جریان ورودی، به طور مناسبی عمل کرده و استهلاک انرژی را به خوبی انجام دهد. اگر عمق پایاب بسیار کم باشد، جاروب شدن کامل جریان، آبستتگی قابل توجهی را در پی دارد. بنابراین چنین حالتی در شرایط مختلف جریان در پایاب، به دلیل وقوع آبستتگی زیاد، نباید روی دهد. در تمامی حوضچه‌هایی که در آن عمق پایاب کمتر از ۹۰ درصد عمق ثانویه پرش کلاسیک است، طراحی حوضچه را با ساخت مدل فیزیکی آن باید بررسی کرد. از وارد شدن خسارت به حوضچه در شرایطی باید جلوگیری شود، زیرا پایداری سد، تا حد زیادی به پایداری حوضچه بستگی دارد.

## پیشینه تحقیق

برای اولین بار در سال ۱۹۴۷ در مرکز تحقیقات آیداهو آمریکا مطالعاتی بر روی عملکرد حوضچه آرامش بر روی مدل سد کاسکید انجام گرفت. مکانیزم استهلاک انرژی و ارزیابی فشار دینامیکی و نوسانات سرعت جریان در حوضچه‌های آرامش توسط محققین بسیاری در دو دهه اخیر مورد مطالعه قرار گرفته است. تانگ و میز<sup>۱</sup> (۱۹۸۲) به منظور اطمینان از تأثیر مستهلک کننده‌های انرژی، مدلی را برای بدست آوردن ابعاد بهینه حوضچه آرامش و ضوابط آن ارائه کرده اند. لانگ و همکاران<sup>۲</sup> (۱۹۹۱) ساختار جریان را در تشکیل پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش مورد بررسی قرار دادند. مروری فشرده بر مطالعات پرش هیدرولیکی و مستهلک کننده‌های انرژی در منابعی چون هاگر<sup>۳</sup> (۱۹۹۲) و ویسچر و هاگر<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) یافت می‌شود. بوهر و همکاران<sup>۵</sup> (۱۹۹۸) روابطی را ارائه نمودند که نحوه استهلاک سرعت

جت راه، پس از ورود به استخر آب نشان می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

تغییرات عمق در پایین دست جریان تأثیر مستقیمی بر محل تشکیل پرش دارد. این تغییرات در دبی‌های متفاوت می‌تواند باعث تشکیل نوسانات سرعت جریان در حوضچه آرامش شود. سرعت زیاد جریان در مسیر رودخانه‌ها و کانال‌ها باعث تخریب بستر و پی می‌گردد. از این جهت سازه‌های هیدرولیکی معمولاً نیازمند به طراحی حوضچه آرامش برای استهلاک انرژی می‌باشند. با توجه به اینکه حوضچه آرامش برای دبی خاص طراحی می‌شود (دوره برگشت ۵۰ یا ۱۰۰ ساله) برای سایر دبی‌های عبوری بررسی نوسانات سرعت در حوضچه و اطمینان از زیر بحرانی بودن دبی خروجی از حوضچه از اهمیت خاصی برخوردار است که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

در تحقیق حاضر، از مدل هیدرولیکی سد گلابر که در مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو با مقیاس ۱:۳۰ ساخته شده و از نوع حوضچه‌های آرامش تیپ II می‌باشد، استفاده شد. نمایی از این مدل در شکل ۱ نشان داده شده است.

سد مخزنی گلابر بر روی رودخانه سجاس رود از سرشاخه‌های رودخانه قزل‌اوزن احداث شده است. این سد از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد.

سیستم تخلیه سیلاب این سد متشکل از یک سرریز به همراه کانال تندآب و حوضچه آرامش است که جریان پس از استهلاک انرژی در حوضچه آرامش به رودخانه هدایت می‌گردد.

تراز بستر رودخانه در محل سد ۱۶۵۳ متر و تراز تاج سد ۱۷۱۰ متر می‌باشد. همچنین ارتفاع این سد ۵۷ متر، طول تاج سد ۲۴۷ متر، عرض تاج سد ۱۰ متر و حجم کل دریاچه سد گلابر ۹۵ میلیون متر مکعب می‌باشد.

طراحی حوضچه آرامش بر اساس سیلاب ۱۰۰۰۰ ساله انجام شده که ابعاد آن ۲۰ × ۸۵ (عرض × طول) می‌باشد. ابعاد بلوک‌های پای تندآب ۱ × ۱ × ۱/۶۶ متر (ارتفاع × عرض × طول)، فاصله بین بلوک‌های تند آب ۱ متر و تعداد بلوک‌های تندآب ۱۰ عدد می‌باشد. همچنین با استفاده از یک دریچه کنترل در پایین دست حوضچه آرامش اقدام به تنظیم عمق پایاب شده است. مدل از سرریز اوجی تا قسمت خروجی جریان از حوضچه آرامش شامل ۵۲ مقطع می‌باشد که حوضچه آرامش از مقطع ۴۲ تا ۵۲ می‌باشد. برای هر مقطع در سه محور (چپ، راست و مرکز) حوضچه اندازه گیری‌ها انجام شد. با توجه به بررسی‌های اولیه در این تحقیق از ۴ دبی (۲۲۱/۷، ۳۵۵/۸، ۴۵۰، ۵۹۲/۹) متر مکعب بر ثانیه استفاده شد. برای هر دبی سه عمق آب در پایین دست مطابق جدول (۱) مورد آزمایش قرار گرفت. در این جدول مقادیر دبی‌های مورد آزمایش بر حسب مدل و پروتوتیپ آمده است.

سه عمق یاد شده در پایاب به نحوی تنظیم شده اند که پوشش دهنده سه حالت از تشکیل پرش هیدرولیکی باشند که عبارتند از:

- 1-Tung and Mays
- 2-Long et al.
- 3-Hager
- 4-Vischer and Hager
- 5-Bohver et al.

در شکل‌های (۲) تا (۴) سه حالت مذکور ارائه شده است.

حالت اول: آغاز پرش هیدرولیکی بعد از بلوک های پای تندآب  
 حالت دوم: آغاز پرش هیدرولیکی روی بلوک های پای تندآب  
 حالت سوم: پرش هیدرولیکی مستغرق



شکل ۱- نمایی از مدل هیدرولیکی حوضچه آرامش سد گلابر در مرکز تحقیقات آب وزارت نیرو

جدول ۱- مقادیر دبی های مورد آزمایش بر حسب مدل و پروتوتیپ با مقیاس ۱:۳۰

دبی مدل (Lit/s) $Q_M$	دبی پروتوتیپ ( $m^3/s$ ) $Q_p$	عمق پایاب در پروتوتیپ T.W(m)	Froude Number ( $Fr_1$ )
		۱۶۴۵	۵/۱۷
۴۴/۹۷	۲۲۱/۷	۱۶۴۷/۵	۲/۵۱
		۱۶۵۱	۴/۲۴
		۱۶۵۰	-/۰.۱
۲۷/۱۷	۳۵۵/۸	۱۶۵۱	۳/۴
		۱۶۵۲/۷	۳/۵۵
		۱۶۵۱	۳/۴
۹۱/۲۸	۴۵۰	۱۶۵۲	۳/۵۵
		۱۶۵۳/۵	۱/۱۱
		۱۶۵۱/۵	۴/۱
۱۲۷/۲۷	۵۹۲/۹	۱۶۵۳	۱/۰.۵
		۱۶۵۴/۵	۳/۸۲



شکل ۳- حالت دوم تشکیل پرش هیدرولیکی، روی بلوک های پای تندآب



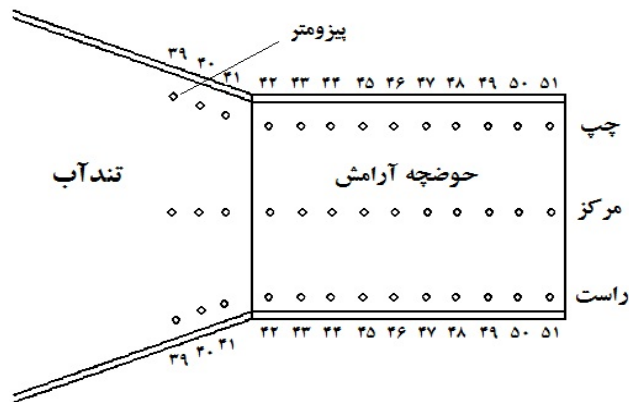
شکل ۲- حالت اول تشکیل پرش هیدرولیکی، بعد از بلوک های پای تندآب



شکل ۴- حالت سوم تشکیل پرش هیدرولیکی، پرش مستغرق



شکل ۵- لوله پیتو جهت اندازه گیری سرعت جریان



شکل ۶- نحوه آرایش فواصل طولی و عرضی پیزومترها

در این تحقیق متناظر با مقاطع نصب پیزومتر می‌باشند. در شکل (۶) نحوه آرایش فواصل طولی و عرضی پیزومترها دیده می‌شود. پیزومترهای شماره ۱ تا ۴۱ مربوط به سرریز اوجی مدل و تندآب می‌باشند. در شکل پیزومترهای ۳۹، ۴۰ و ۴۱ که انتهای تندآب قرار دارند مشاهده می‌شود. پیزومترهای شماره ۴۲ تا ۵۱ مربوط به کف حوضچه آرامش می‌باشند.

جهت تنظیم مقدار دبی خروجی از پایاب از یک دستگاه لیمینومتر استفاده شد. با توجه به منحنی دبی اشل مدل که قبلاً با

جهت تعیین سرعت جریان در حوضچه آرامش از لوله پیتو که برای اندازه گیری سرعت های بالا بکار می رود، استفاده شده است (شکل ۵). اندازه گیری به وسیله لوله پیتو در نیمه عمق آب انجام گرفت. اندازه گیری های سرعت جریان در طول حوضچه آرامش در ۱۳ نقطه انجام شد که با توجه به موقعیت پرش در حالت مستغرق اندازه گیری سرعت در قسمت انتهایی تندآب نیز صورت گرفت. در ساخت این مدل از سرریز تا انتهای حوضچه آرامش در ۵۱ مقطع و در هر مقطه در ۳ نقطه لوله پیزومتر نصب شده است که نقاط اندازه گیری سرعت جریان

گرفتن مقدار میانگین آن سعی شد که دقت اندازه‌گیری‌ها تا حد امکان بالا برده شود. شکل‌های (۷) تا (۱۰) بیان‌کننده پروفیل سطح آب در حوضچه آرامش می‌باشند.

### فشار استاتیکی در کف حوضچه آرامش

فشار استاتیکی یکی از مهمترین پارامترهای هیدرولیکی جهت کنترل سازه می‌باشد. اندازه‌گیری فشار استاتیکی در مدل هیدرولیکی سد گلابر با استفاده از پیزومترهای نصب شده در کف حوضچه آرامش صورت گرفت. همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است، اندازه‌گیری‌ها در ۱۰ نقطه در کف حوضچه آرامش انجام شده است. در شکل‌های (۱۱) تا (۱۴) تغییرات فشار استاتیکی در چهار دبی مورد آزمایش، نشان داده شده است.

آزمایش بر روی آن رسم شده است، می‌توان دبی مورد نظر جهت انجام آزمایش را ایجاد کرد. همچنین یک سرریز مستطیلی نیز در پایاب مدل نصب شد که می‌توان با قرائت ارتفاع آب روی سرریز توسط لیمینومتر و با توجه به رابطه سرریزهای مستطیلی مقدار دبی مربوطه را استخراج کرد.

بعد از تنظیم دبی خروجی از پایاب جهت ایجاد پرفش هیدرولیکی در حالات سه‌گانه یاد شده از یک دریچه در پایاب و قبل از سرریز مستطیلی استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### اندازه‌گیری عمق جریان در حوضچه آرامش

برای تعیین تراز سطح آب از یک اشل مدرج استفاده شد. در اندازه‌گیری تراز آب نیز با ثبت مقادیر حداکثر و حداقل و در نظر



شکل ۷- پروفیل سطح آب در دبی ۲۲۱/۷ متر مکعب بر ثانیه



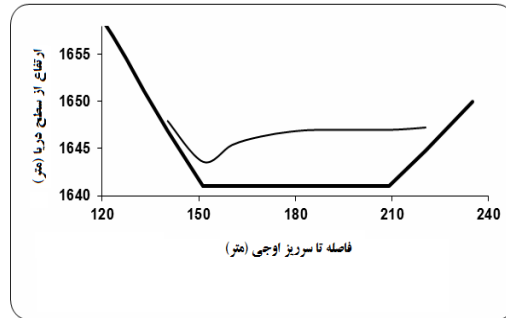
شکل ۸- پروفیل سطح آب در دبی ۳۵۵/۸ متر مکعب بر ثانیه



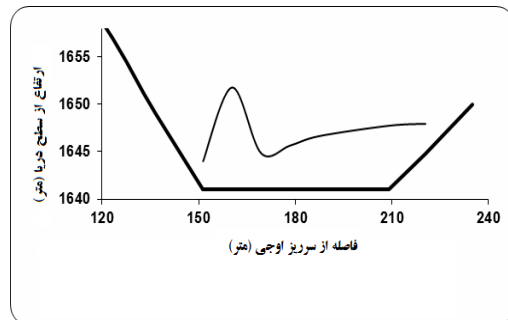
شکل ۹- پروفیل سطح آب در دبی ۴۵۰ متر مکعب بر ثانیه



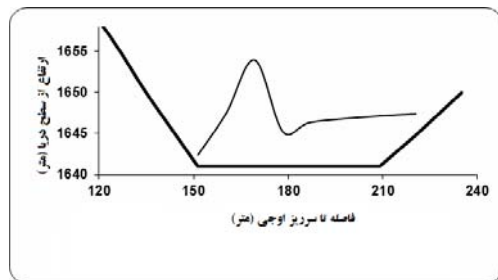
شکل ۱۰- پروفیل سطح آب در دبی ۵۹۲/۹ متر مکعب بر ثانیه



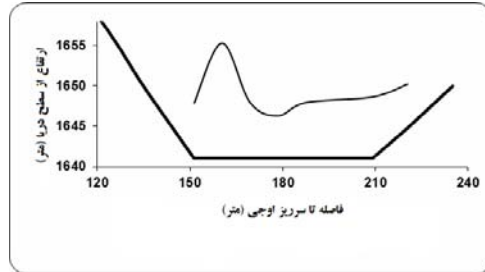
شکل ۱۱- فشار استاتیکی در دبی ۲۲۱/۷ متر مکعب بر ثانیه



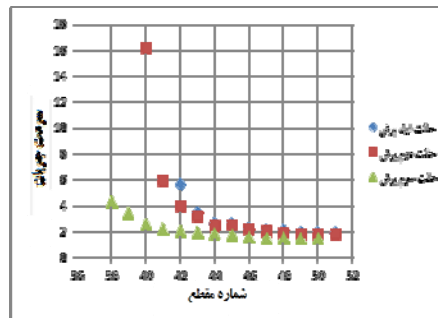
شکل ۱۲- فشار استاتیکی در دبی ۳۵۵/۸ متر مکعب بر ثانیه



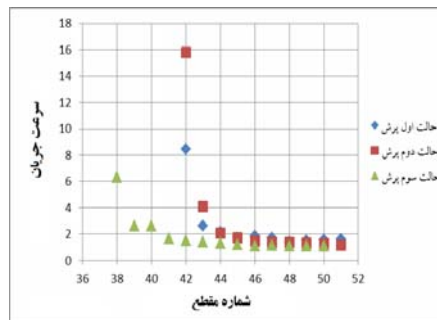
شکل ۱۳- فشار استاتیکی در دبی ۴۵۰ متر مکعب بر ثانیه



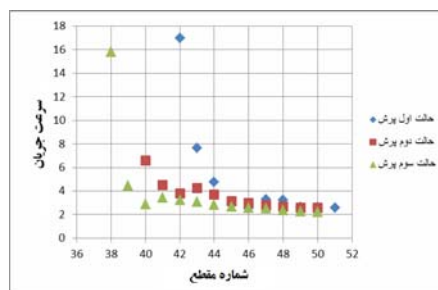
شکل ۱۴- پروفیل سطح آب در دبی ۵۹۲/۹ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۱۵- تغییرات سرعت جریان در دبی ۲۲۱/۷ متر مکعب بر ثانیه



شکل ۱۶- تغییرات سرعت جریان در دبی ۳۵۵/۸ متر مکعب بر ثانیه

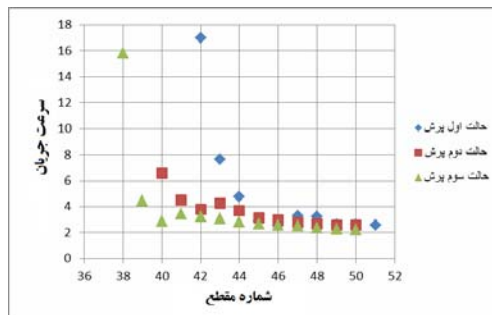


شکل ۱۷- تغییرات سرعت جریان در دبی ۴۵۰ متر مکعب بر ثانیه

عمق پایاب و دبی جریان، تغییرات سرعت جریان در شرایط مختلف هیدرولیکی نشان داده شده است. در هر نمودار تغییرات سرعت در یک دبی و در سه حالت تشکیل پرش جهت مقایسه نشان داده شده است.

مقایسه تغییرات سرعت جریان در سه حالت پرش هیدرولیکی

در شکل‌های (۱۵) تا (۱۸) نمودار تغییرات سرعت جریان در مقاطع ذکر شده در شکل (۶)، نشان داده شده است. با تغییر در



شکل ۱۸- تغییرات سرعت جریان در دبی ۵۹۲/۹ متر مکعب بر ثانیه

جدول ۲- درصد انرژی تلف شده در پرش هیدرولیکی

دبی ( ) $Q \text{ m}^3/\text{s}$	موقعیت تشکیل پرش هیدرولیکی	$\Delta E/E_1 \times 100$
۲۲۱/۷	حالت اول	۵۸
	حالت دوم	۸۵
	حالت سوم	۴۶
۳۵۵/۸	حالت اول	۴۲/۵
	حالت دوم	۸۹
	حالت سوم	۵۳
۴۵۰	حالت اول	۷۶
	حالت دوم	۸۵
	حالت سوم	۷۹
۵۹۲/۹	حالت اول	۷۰
	حالت دوم	۶۴
	حالت سوم	۲۴

۴۰ تا ۴۴ یعنی در ابتدای حوضچه در کلیه دبی‌ها به دلیل تشکیل پرش هیدرولیکی و برخورد متناوب جریان در این ناحیه دارای مقادیر بالایی بود. به طوری که با افزایش جریان بر شدت نوسانات در این ناحیه افزوده می‌گردید.

۳- سرعت جریان با حرکت پرش از حالت اول تشکیل پرش هیدرولیکی تا حالت دوم تشکیل پرش هیدرولیکی افزایش داشت ولی بعد از این حالت تا حالت سوم تشکیل پرش هیدرولیکی کاهش می‌یافت.

۴- بیشترین مقدار سرعت جریان در ابتدای حوضچه و در حالت دوم تشکیل پرش هیدرولیکی و کمترین مقدار آن در مقاطع انتهایی حوضچه و قبل از خروج آب از حوضچه بود.

۵- در حالت دوم تشکیل پرش هیدرولیکی یعنی تشکیل پرش روی بلوک‌های پای تندآب، تلاطم جریان کمترین میزان خود را داشت.

۶- میزان استهلاك انرژی در حالت دوم تشکیل پرش بیشترین مقدار خود را داشت که این موضوع در هر چهار دبی مورد آزمایش مشاهده شد و می‌توان نتیجه گرفت که بهترین پرش هیدرولیکی در حالت دوم، یعنی تشکیل پرش روی شوت بلوک‌ها می‌باشد.

هدف از این مقایسه علاوه بر نشان دادن تغییرات سرعت جریان، مقایسه کردن شرایط جریان و نشان دادن میزان تأثیر عمق پایاب بر سرعت جریان در حوضچه آرامش می‌باشد.

#### میزان استهلاك انرژی در پرش هیدرولیکی

میزان افت انرژی در هر مرحله از آزمایش‌ها محاسبه شد و سپس با محاسبه درصد اتلاف انرژی، پرش هیدرولیکی از لحاظ مقدار انرژی تلف شده مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است.

هدف از مقایسه مقادیر افت انرژی، ارزیابی تأثیر محل تشکیل پرش هیدرولیکی بر میزان اتلاف انرژی می‌باشد که با استفاده از نتایج آن می‌توان پرش هیدرولیکی بهینه با بیشترین افت انرژی را شناسایی کرد.

#### نتیجه‌گیری

۱- با افزایش دبی مقادیر سرعت در ابتدای حوضچه به علت برخورد جت آب با نقاط ابتدایی حوضچه، افزایش چشمگیری داشت.

۲- نوسانات سرعت جریان در مقاطع متناظر با پیژومترهای



در دبی ۴۵۰ متر مکعب بر ثانیه تلاطم جریان کمترین تأثیر را بر نوسانات سرعت جریان داشت.

۱۰- در دبی ۵۲۹/۹ متر مکعب بر ثانیه، در حالت دوم پرش (حالت مطلوب پرش) به علت بیشینه بودن شدت جریان عمق پایاب جریان بیشترین تأثیر را بر نوسانات سرعت جریان داشت. ولی در حالت پرش مستغرق این تأثیر به کمترین میزان خود رسید.

۷- در دبی ۳۵۵/۸ متر مکعب بر ثانیه میزان استهلاک انرژی نسبت به سایر دبی‌های مورد آزمایش مقدار بیشتری را دارد. در این دبی سرعت جریان بعد از پرش تقریباً با کاهش ۹۳ درصدی نسبت به سرعت اولیه پرش مواجه بود.

۸- در دبی ۲۲۱/۷ متر مکعب بر ثانیه به علت پایین بودن شدت جریان، در هر سه حالت پرش هیدرولیکی، نوسانات هر سه محور، در هر مرحله تقریباً منطبق بودند.

۹- در دبی ۳۵۵/۸ متر مکعب بر ثانیه نیز همین موضوع دیده شد.

### منابع

- 1- Carolo F.G., Ferro, V., and Pam Palone, V., 2007, Hydraulic jumps on rough beds. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 133(9): 989-999.
- 2- Hager. W. H., 1992. Energy dissipators and hydraulic jump, Kluwer Academic Publishers, 288p.
- 3- Long, D., Rajaratnam, N., Steffler, P.M., and SMY, P.R., 1991, Structure of flow in hydraulic jumps. Journal of Hydraulic Research, 29(2):207-218.
- 4- Tung, Y K. and L.W. Mays.1982. Optimal designs for overflow spillway, Proceeding of ASCE Journal of Hydraulic Division, 108 (10):1163-1178.
- 5- Vischer D.L. and Hager W.H., 1995. Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipaters, Chap 18, USBR, Balkema, Rotterdam, Netherland.