

# بررسی اثر بلوک‌های معلق کرووی مهاری نوع جدید بر ویژگی‌های پرش هیدرولیکی

پوریا خدري ميرقايد<sup>۱</sup>، جواد احديان<sup>۲\*</sup>، امين ورشوساز<sup>۳</sup>

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۲- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، سازه‌های آبی، دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

Ja.ahadiyan@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۹۷/۳/۲۱]

تاریخ دریافت: [۹۶/۰۹/۱۳]

## چکیده:

هنگامی که آب از روی سرریز یا مجراهای تحتانی مانند دریچه عبور می‌کند، جریان آن فوق بحرانی بوده و انرژی جنبشی زیاد و مخربی دارد. معمولاً در این حالت برای اینکه انرژی جنبشی مخرب از آب گرفته شود، از پدیده‌ی پرش هیدرولیکی در سازه‌ای بنام حوضچه آرامش استفاده می‌شود. ابعاد حوضچه تابعی از مشخصات پرش است. به منظور بهینه‌سازی این حوضچه‌ها اقداماتی از جمله قراردادن موانع در برابر جت جریان ورودی و یا ایجاد زبری در کف برای افزایش تلاطم و استهلاک انرژی صورت گرفته است. در این پژوهش استفاده از بلوک‌های معلق کرووی مهار شده به کف حوضچه آرامش پیشنهاد می‌شود. این نوع بلوک‌ها با چگالی نسبی کمتر از آب بوسیله‌ی مهاری از جنس پلاستیک مقاوم به کف حوضچه متصل شده‌اند. ویژگی اصلی این موانع بر خلاف بلوک‌های صلب معمول، داشتن تحرک و نوسان متناسب با جریان عبوری از آن‌ها می‌باشد. به منظور بررسی اثر موانع آزمایش‌ها در فلوم ۳۵ سانتی‌متری آزمایشگاه مدل فیزیکی دانشگاه شهید چمران اهواز صورت گرفت. در این پژوهش، چهار نوع آرایش به منظور مطالعه اثر آرایش این موانع در محدوده اعداد فرود  $0.1-8/3$  در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که عمق ثانویه، طول پرش هیدرولیکی و استهلاک انرژی در حضور این نوع بلوک‌ها نسبت به بستر صاف به ترتیب و بطور میانگین ۲۱، ۳۱ درصد کاهش و ۱۱ درصد افزایش داشته است. همچنین مشخص شد که تغییر آرایش موانع تغییر چندانی در میزان استهلاک انرژی ایجاد نمی‌کند.

**واژگان کلیدی:** بلوک‌های معلق کرووی، استهلاک انرژی، طول پرش هیدرولیکی، عمق ثانویه

## ۱- مقدمه

توجهی همراه است، پرش هیدرولیکی نام دارد. هنگام عبور آب از سازه‌هایی مانند سرریز سدها، تندآب‌ها، آبشارها و دریچه‌ها پدیده‌ی پرش هیدرولیکی، در پایین دست چنین

تغییر رژیم جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی که با افزایش ناگهانی سطح آزاد آب و استهلاک انرژی قابل

بیشتر دو ردیف بلوک با هندسه‌ی انحناندار را پیشنهاد نمودند. مورثی و سیدارمیا [7]، روی تعداد و هندسه بلوک‌ها آزمایش‌هایی انجام دادند. راجاراتنام [8]، نشان داد که فاصله مناسب بین بلوک‌ها برای عملکرد بهینه باید به گونه‌ای باشد که فقط ۵۰ درصد عرض حوضچه را اشغال کنند. رائو و سوریانارایانا [9]، تاثیر وجود یک مجرای منشوری همگرا در بلوک‌ها بر پرش هیدرولیکی را بررسی نمودند. پیلاپی و همکاران [10]، نوع دیگری از بلوک‌ها که دارای زاویه حمله بودند را مورد مطالعه قرار دادند. پیترکا [11]، اظهار داشت که در سرعت‌های بالای جت جریان ورودی به حوضچه  $(v_1 > 18 \text{ m/s})$  اگر بلوک‌های میانی به کار برده شوند، پدیده کاویتاسیون رخ می‌دهد و برای جلوگیری از وقوع چنین پدیده‌ای لازم است یا حوضچه USBR II یا یک مدل هیدرولیکی مناسب مورد استفاده قرار گیرد. راجاراتنام [12]، توانست مدلی را که همان زبری بستر است معرفی کند. این مدل که از طریق افزایش تنش برشی بستر فرآیند استهلاک انرژی را انجام می‌داد مبنای بیشتر مطالعات آتی قرار گرفت. زبری می‌تواند با استفاده از بلوک و یا ناهمواری در کف حوضچه باشد. محمدعلی [13] در پژوهش‌های خود نشان داد که استفاده از زبری‌های مکعب شکل در کف حوضچه باعث کاهش طول پرش هیدرولیکی می‌شود. همچنین نیسی و شفافی بجستان [14] اثر اشکال مختلف زبری ناپیوسته بر ویژگی‌های پرش هیدرولیکی را مورد مطالعه قرار دادند. اید و راجاراتنام [15] توانستند نوع جدیدی از زبری که همان بستر موجود است را معرفی نمایند. ایزدجو و شفافی بجستان [16] عباس پور و همکاران [17]، نژند علی و همکاران [18]، پارسا مهر و همکاران [19] نیز روی اشکال دیگری از بستر موجودار به ترتیب ذوزنقه‌ای، سینوسی، مثلثی و نیم استوانه‌ای آزمایش‌هایی انجام دادند. کارلو و همکاران [20] با ارائه مدل زبری بستر از جنس شن توانستند مشخصات پرش هیدرولیکی را بهبود بخشند. خواجه گودری و شفافی بجستان [21] با رویکرد کاهش ضخامت دال کف حوضچه آرامش المان‌های شش پایه که در هم تنیده شده‌اند را به عنوان یک نوع زبری بستر معرفی نمودند.

سازه‌هایی رخ می‌دهد. در نتیجه‌ی این جریان، عمق در فاصله‌ای کوتاه افزایش و از میزان سرعت جریان کاسته می‌شود. این پدیده با تلاطم و پیدایش گرداب‌ها در داخل و غلتاب‌ها در سطح آب همراه است. اولین مطالعات صورت گرفته در خصوص این پدیده مربوط به پرش هیدرولیکی کلاسیک است. از جمله مطالعات اولیه هدفمند و تکمیل کننده مطالعات قبلی در مورد پرش هیدرولیکی کلاسیک می‌توان به آزمایش‌های صورت گرفته توسط پژوهشگرانی مانند برادلی و پیترکا [1] در حوضچه آرامش USBR نوع ۱ و راجاراتنام [2]، در مورد میدان سرعت و آشفتگی پرش اشاره کرد. همچنین به نقل از هگر [3]: بلانگر، توانست به خوبی رابطه بین اعماق مزدوج را بوسیله معادله ممتنم در کانالی با مقطع مستطیلی با بستر صاف به صورت زیر بدست آورد:

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

که در آن  $Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}$  عدد فرود جریان در رژیم فوق بحرانی است. همچنین  $y_1$ ،  $y_2$  و به ترتیب عمق اولیه در ابتدا، عمق ثانویه در انتهای پرش و  $v_1$  سرعت جریان جت ورودی به حوضچه آرامش است. از حوضچه آرامش به منظور کنترل پرش هیدرولیکی استفاده می‌شود. از معروفترین حوضچه‌هایی آرامش می‌توان حوضچه‌های طراحی شده در دانشگاه مینه‌سوتا (SAF)، سازمان آبادانی آمریکا (USBR) و موسسه هیدروتکنیک و دنیو روسیه (VNIIG) را نام برد [4]. ابعاد این سازه شدیداً به مشخصات پرش وابسته است. از آنجا که برای احداث این سازه هزینه‌های زیادی لازم است، برای کاهش هزینه‌ها تاکنون روش‌های زیادی مانند زبری کف، بلوک‌های ابتدایی، میانی، انتهایی، دیواره و غیره، با هدف افزایش استهلاک انرژی جریان جت ورودی به حوضچه و در نهایت کاهش ابعاد آن پیشنهاد شده است. از اولین مطالعات در خصوص کاهش ابعاد حوضچه آرامش، می‌توان به مطالعات صورت گرفته در مورد بلوک‌ها اشاره کرد. استیل [5]، با مطالعه بلوک‌ها در حوضچه آرامش شکل آن‌ها را مورد بررسی قرار داد. استیل و مونرو [6]، برای استهلاک انرژی

، لزجت دینامیکی ( $\mu$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، عمق اولیه پرش ( $y_1$ )، عمق ثانویه در حالت پرش اجباری ( $y_2$ )، طول پرش ( $L_f$ )، سرعت جریان جت ورودی به حوضچه ( $v_1$ ) و طول غلتابه ( $L_p$ ) است. در صورت وجود بستر مجهز به موانع کروی معلق مهاری در حوضچه آرامش با توجه به هدف این پژوهش پارامتر نوع آرایش ( $A$ ) نیز به آن‌ها اضافه می‌شود. پارامتر  $A$  بدون بعد است و فقط به چگونگی قرارگیری (۴ نوع آرایش) اشاره می‌کند. سایر پارامترهای مربوط به مدل مانند قطر و طول مهار در تمامی آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شده است (شکل ۱). بنابراین، نسبت این پارامترها به متغیرهای تکراری ( $y_1$ ) همیشه مقدار ثابتی خواهد بود و از معادلات حذف می‌شود. می‌توان رابطه عمق ثانویه پرش با پارامترهای وابسته را به صورت زیر تعریف کرد:

$$y_2 = f_1(v_1, y_1, \rho, \mu, g, A) \quad (2)$$

با استفاده از تئوری باکینگهام و با در نظر گرفتن پارامترهای ( $v_1, y_1, \rho$ ) به عنوان متغیرهای تکراری روابط بدون بعد به صورت زیر برای نسبت اعماق متناوب بدست می‌آید:

$$\frac{y_2}{y_1} = f_2(Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}, Re_1 = \frac{\rho v_1 y_1}{\mu}, A) \quad (3)$$

که در آن  $Fr_1$  عدد فرود و  $Re_1$  عدد رینولدز جریان جت ورودی به حوضچه است. با توجه به اینکه جریان ایجاد شده از نوع متلاطم بوده، پس اثر نیروهای لزجت نسبت به اینرسی کم بوده و تأثیر ناچیزی بر حرکت جریان می‌گذارند. بنابراین از پارامتر بی‌بعد عدد رینولدز می‌توان صرف نظر کرد. بنابراین رابطه (۳) به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{y_2}{y_1} = f_2(Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}, A) \quad (4)$$

و به طور مشابه برای طول پرش و غلتابه روابط بی‌بعد به صورت زیر در خواهند آمد:

$$\frac{L_f}{y_1}, \frac{L_p}{y_1} = f_2(Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gy_1}}, A) \quad (5)$$

ویژگی مشترک تمامی مطالعات صورت گرفته تا کنون، ثابت بودن و عدم انعطاف پذیری آن‌ها در برابر جریان است. ویژگی‌ای که، انتظار می‌رود، بتواند آشفتگی جریان را بیشتر نماید و متعاقباً استهلاک انرژی را نسبت به روش‌های موجود با هزینه‌ای کمتر، افزایش دهد. در این روش، عکس تمامی روش‌های موجود، موانع به کار گرفته شده به گونه‌ای طراحی شده‌اند، که بتوانند در اطراف یک مکان ثابت با استفاده از ساز و کارهای اعمال شده، آزادانه در جریان ورودی به حوضچه حرکت و نوسان داشته باشند. با توجه به مطالعات انجام شده، در این پژوهش برای اولین بار استفاده از مستهلک‌کننده‌های معلق کروی مهاری یا گیردار پیشنهاد می‌شود. بنابراین با در نظر گرفتن اینکه تا کنون مطالعه‌ای در خصوص کاربرد این سازه‌ها در حوضچه آرامش به منظور تأثیرشان بر مشخصات پرش هیدرولیکی انجام نشده است، سوالات متعددی در خصوص میزان و چگونگی تأثیرشان بر ویژگی‌های پرش و در نهایت بهینه سازی طراحی حوضچه آرامش مطرح است، که این پژوهش فقط به بررسی اثر آرایش آن‌ها بر این مشخصات می‌پردازد. از نقطه نظر کاربردی، این سازه‌ها مشابه بلوک‌های میانی در برابر جت جریان ورودی به حوضچه رفتار می‌کنند ولی با توجه به آزادی عملی و وزن کمی (چگالی کمتر از آب) که دارند در راستای بیشترین نیروی جریان وارد شده قرار می‌گیرند. از طرفی به دلیل ساختار کروی نیروی درگ کمتری را نسبت به بلوک‌ها (ساختار مکعبی) متحمل می‌شوند. در نتیجه باعث کاهش ضخامت دال کف حوضچه آرامش می‌گردند. علاوه بر این به دلیل پیش ساختگی، سبکی و طراحی انعطاف‌پذیر، سرعت انجام عملیات را بالا می‌برند. بنابراین انتظار می‌رود چنین سازه‌ای بتواند به جنبه اقتصادی طرح کمک شایانی بنماید.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر و حاکم بر پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش پایین دست تندآب به ویژگی‌های سیال و جریان مربوط می‌شود. این ویژگی‌ها شامل جرم واحد حجم مایع ( $\rho$ )

نسبی کمتر از آب و قطر ۴ سانتی‌متر (ثابت برای کلیه آزمایش‌ها) برای مدل آزمایشگاهی مستهلک کننده معلق در نظر گرفته شد. موانع بوسیله مهار با طول ثابت ۲/۵ سانتی‌متر به کف حوضچه طراحی شده (USBR 1) متصل شد. اندازه طول مهار به گونه‌ای انتخاب شد، که موانع وارد محیط غلتایی نشود و در مقابل جت جریان ورودی به حوضچه باقی بمانند، چرا که در صورت ورود به محیط غلتایی استهلاک انرژی صورت نمی‌گیرد. جهت اتصال موانع به کف حوضچه، بستر با ضخامت ۱ میلی‌متر به گونه‌ای طراحی شد که اثری بر ویژگی‌های پرش نداشته و آنچه برداشت می‌شود فقط اثر موانع باشد. ابتدا و انتهای موقعیت قرارگیری موانع در فاصله طولی بین ۲/۳-۰/۶ برابر بیشترین عمق ثانویه در حالت کلاسیک از پنجه‌ی تندآب در نظر گرفته شد. معیار موقعیت قرارگیری مطابق با تقسیم بندی جریان عبوری از بلوک‌ها توسط باسکو [22]، کمتر از طول غلتایی در حالت دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه آزمایش شاهد در نظر گرفته شد تا پرش اجباری صورت گیرد. تعداد آزمایش‌های صورت گرفته در این پژوهش بالغ بر ۳۰ مورد در محدوده اعداد فرود (۵-۸/۳) که ۵ مورد آن مربوط به تکرار آزمایش شاهد بر بستر تعبیه شده برای استقرار موانع است. تکرار آزمایش شاهد بر بستر طراحی شده برای نگره‌داشتن موانع، به منظور اطمینان یافتن از عدم تاثیر آن بر ویژگی‌های پرش بود. برای پاسخ به اهداف این پژوهش پارامترهای عمق ثانویه و اولیه، طول پرش و غلتایی اندازه‌گیری شد. اعماق مزدوج بوسیله عمق سنج با دقت ۱ میلی‌متر در سه نقطه از عرض فلوم اندازه‌گیری شد و میانگین آن‌ها برای انجام محاسبات لحاظ شد.

شکل ۱. مشخصات پرش هیدرولیکی بر روی بستر تعبیه شده

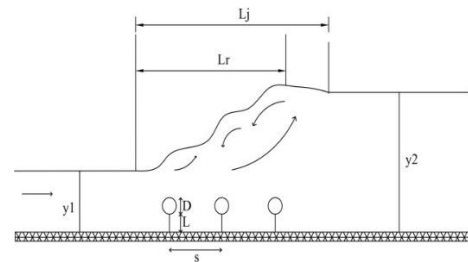


Fig. 1. Hydraulic Jump and Model Characteristics

### ۲-۲- مشخصات مدل فیزیکی

آزمایش‌های این پژوهش در فلومی به طول ۱۰ متر و عرض و ارتفاع به ترتیب ۳۵ و ۴۵ سانتی‌متر مستقر در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. آب مورد نیاز از مخزن بیرون آزمایشگاه توسط سیستم پمپاژ تامین شد. اندازه‌گیری دبی جریان بوسیله دبی‌سنج الکترومغناطیس با دقت ۰/۰۰۱ لیتر بر ثانیه قبل از ورود به مخزن آرام‌کننده جریان صورت گرفت. به منظور ایجاد جریان فوق بحرانی و در نتیجه تشکیل پرش، یک سازه تند آب به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر و با شیب ۳۰ درجه نسبت به افق از جنس PVC در قسمت ابتدایی فلوم بعد از شبکه آرام‌کننده نصب شد. شکل (۲) و (۳) به ترتیب شماتیکی از فلوم آزمایشگاهی و چگونگی قرارگیری بلوک‌های معلق در حوضچه را نشان می‌دهد. در این پژوهش برای نخستین بار کاربرد موانع معلق کرووی مهاری (متصل به کف) در حوضچه آرامش با هدف بررسی تأثیر آرایش این نوع موانع بر بهینه سازی حوضچه‌ی آرامش مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. مطابق شکل (۴) مستهلک کننده‌های کرووی معلق در ۴ نوع آرایش در حوضچه نصب شد. کره‌هایی تو خالی از جنس پلی اتیلن با چگالی

شکل ۲. طرحی از چگونگی قرارگیری موانع مهار شده در حوضچه آرامش

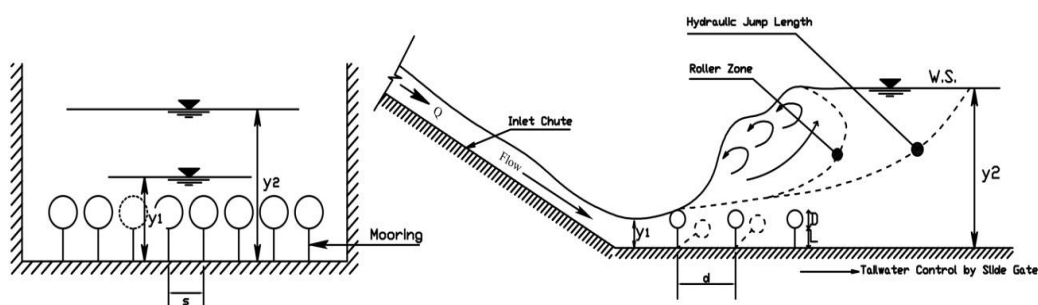


Fig. 2. A Schematic of Anchored Obstacles Setting in Stilling Basin

شکل ۳. نمایی از پلان و پروفیل فلوم آزمایشگاهی

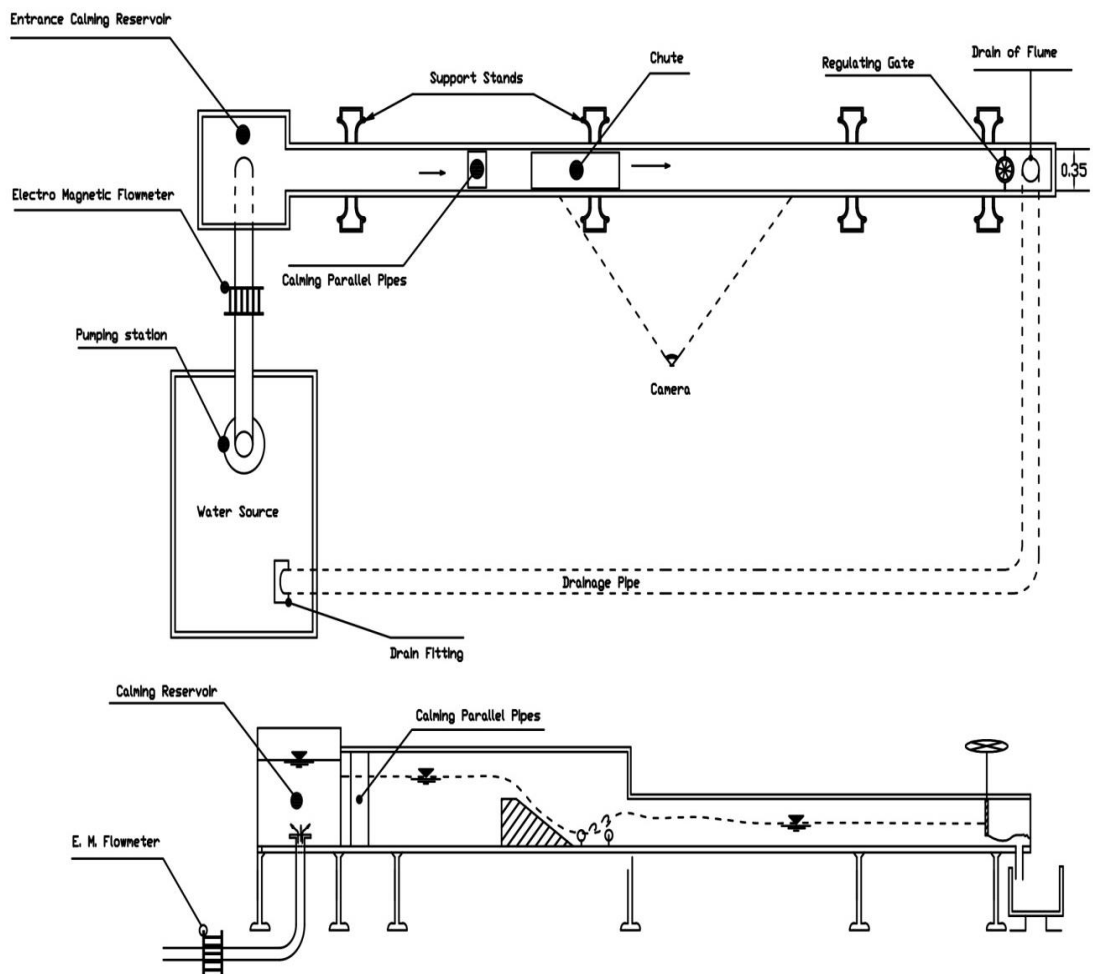


Fig. 3. A Schematic of Laboratory Flume Profile and Plan

شکل ۴. انواع آرایش‌های مورد استفاده در این پژوهش

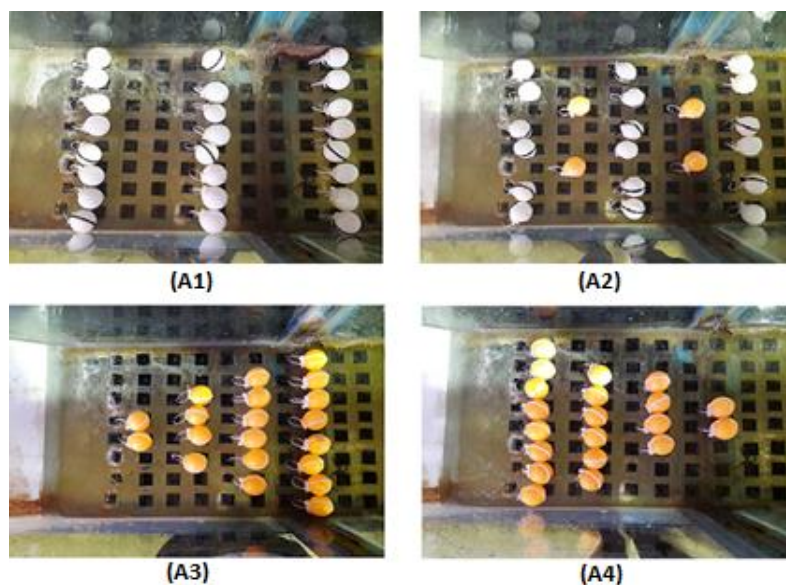


Fig. 4. Types of Arrangements in Present Study

ستاره بیانگر پرش کلاسیک است) و تغییرات آن در برابر عدد فرود در شکل (۵-ب) آورده شده است. این نمودار نشان می‌دهد که میزان D از فرود ۵ تا ۷/۵ بصورت خطی افزایش می‌یابد و سپس دوباره کاهش می‌یابد. میزان کاهش عمق ثانویه در حضور موانع معلق از ۱۳ الی ۲۷ درصد متغیر است و بطور میانگین آرایش A1 الی A4 به ترتیب به میزان ۲۰، ۲۰/۲۱، ۱۸/۵، ۲۲/۷ درصد باعث کاهش عمق ثانویه شده‌اند. دلیل اختلاف مقدار آرایش A3 با سایر آزمایش‌ها تراکم کمتر المان‌ها در ردیف‌های اول است.

$$D = \frac{Y_2^* - Y_2}{Y_2^*} \times 100 \quad (6)$$

شکل ۵. الف) تغییرات و ب) نرخ کاهش عمق ثانویه نسبی در برابر عدد

فرود اولیه کلیه آزمایش‌ها

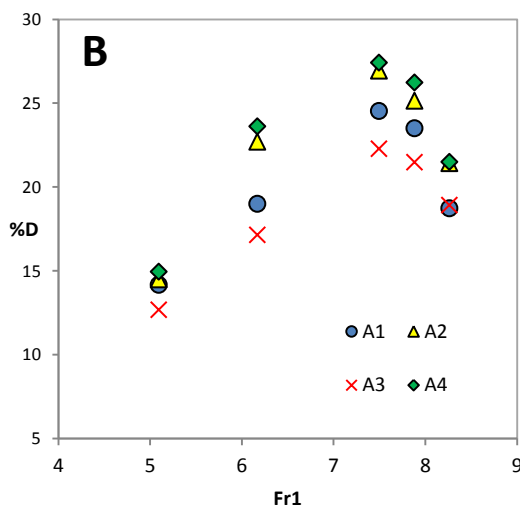
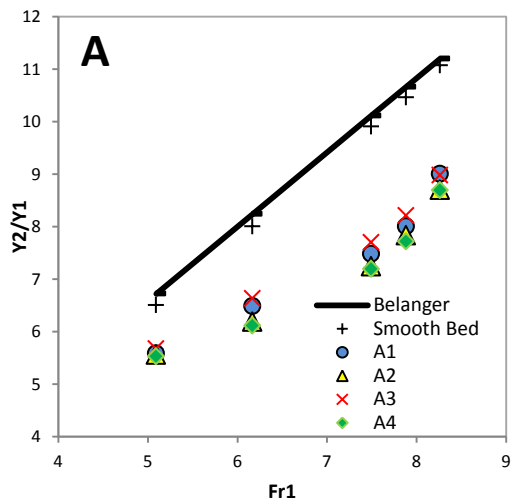


Fig. 5. A) Variations and B) Decrement rate of relative conjugate depth Vs. froud number

طول پرش هیدرولیکی و غلتابی بوسیله نوار متری تعبیه شده بر دیواره فلوم اندازه‌گیری شد. مشخصات مدل آزمایشگاهی و محدوده پارامترهای اندازه‌گیری شده به ترتیب در جداول (۱ و ۲) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات آرایش‌ها و تعداد المان‌های استفاده شده در هر

آزمایش

Num of Elements	Exp name
24	A1
22	A2
20	A3
20	A4
-	Smooth Bed

Table 1. Arrangements Charecteristics and Elements No

جدول ۲. حدود پارامترهای اندازه‌گیری شده

Range	Units	Parameters
5.1-8.3	Dimansionless	Fr <sub>1</sub>
15-35	(Lit/s)	Discharge
1.4-3.4	(cm)	y <sub>1</sub>
15.5-22.1	(cm)	y <sub>2</sub> <sup>*</sup>
12.2-19.3	(cm)	y <sub>2</sub>
95-145	(cm)	L <sub>j</sub> <sup>*</sup>
60-120	(cm)	L <sub>j</sub>
62-113	(cm)	L <sub>r</sub> <sup>*</sup>
35-57	(cm)	L <sub>r</sub>

Table 2. Range of Laboratory Model Parameters

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- عمق ثانویه نسبی

اعماق مزدوج پرش از پارامترهای مهمی هستند که در پرش هیدرولیکی باید مورد مطالعه قرار بگیرند. تغییرات این پارامتر در آزمایش‌های گوناگون محاسبه و نمودار آن در برابر عدد فرود رسم شد. شکل (۵-الف) که برای نتایج مربوط به نسبت اعماق مزدوج انواع آرایش‌ها رسم شده، نشان می‌دهد که با افزایش فرود اولیه عمق ثانویه نسبی در بستر مجهز به این نوع موانع نسبت به حالت پرش کلاسیک بصورت قابل توجه‌ای کاهش یافته است. همان‌گونه که از نمودار بر می‌آید تغییرات آرایش تفاوت چندانی در کاهش عمق ثانویه نسبت به یکدیگر ایجاد نمی‌کند ولی با این حال بیشترین اثر را آرایش A4 داشته است. همچنین به منظور بررسی درصد کاهش عمق ثانویه از رابطه (۶) استفاده شد (که در آن علامت

می‌شوند. به منظور بررسی میزان اثرگذاری بر بعد طولی پرش از پارامتر درصد کاهش طول پرش ارائه شده توسط توکیای [23]، استفاده شد:

$$T = \frac{L_j^* - L_j}{L_j^*} \times 100 \quad (7)$$

که علامت ستاره در آن بیانگر پرش کلاسیک است. شکل (۶-ب) نشان می‌دهد که میزان T با افزایش عدد فرود تا ۷/۹ رابطه مستقیم دارد و پس از آن به دلیل عمق اولیه کم، میزان سطح مقابل جریان موانع به پایین‌ترین حد ممکن می‌رسد، پس اثرگذاری بر طول پرش کاهش می‌یابد. این نوع موانع می‌توانند ۲۰ الی ۴۰ درصد طول پرش را کاهش دهند. به ترتیب مربوط به آرایش A3 و A4 به میزان ۲۷ و ۳۵ درصد است.

شکل ۷. تغییرات طول غلتاب نسبی در برابر عدد فرود برای کلیه

آزمایش‌ها

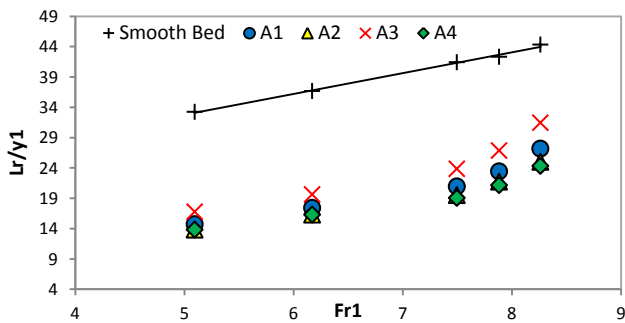


Fig. 7. Variations of Relative Surface Roller Vs. Froude

### ۳-۳- طول غلتابی

با توجه به تحلیل ابعادی صورت گرفته، طول غلتاب نسبی ( $\frac{L_T}{y_1}$ ) در برابر عدد فرود مطابق شکل (۷) رسم شد. همان‌گونه که مشخص است طول غلتابی به شکل قابل توجهی نسبت به بستر صاف کاهش یافته. با افزایش عدد فرود از شدت روند کاهش طول غلتابی نسبت به بستر صاف کاسته می‌شود. در حضور این نوع موانع طول غلتابی بیشینه ۵۸ درصد و بطور میانگین ۴۸ درصد کاهش داشته است. مقایسه آرایش‌ها با همدیگر نشان می‌دهد که تغییر در آرایش اثر چندانی بر طول غلتابی ایجاد نمی‌کند

### ۳-۲- طول پرش هیدرولیکی

به منظور بررسی اثر آرایش مدل بر طول پرش هیدرولیکی از طول پرش نسبی ( $\frac{L_j}{y_1}$ ) بدست آمده از بخش تحلیل ابعادی در مقابل عدد فرود اولیه استفاده شد. سپس در شکل (۶-الف) نتایج بدست آمده با داده‌های حوضچه USBR I مقایسه شد.

شکل ۶. الف) تغییرات و ب) درصد کاهش طول پرش نسبی به ازای

عدد فرود در بستر صاف و انواع آرایش‌ها

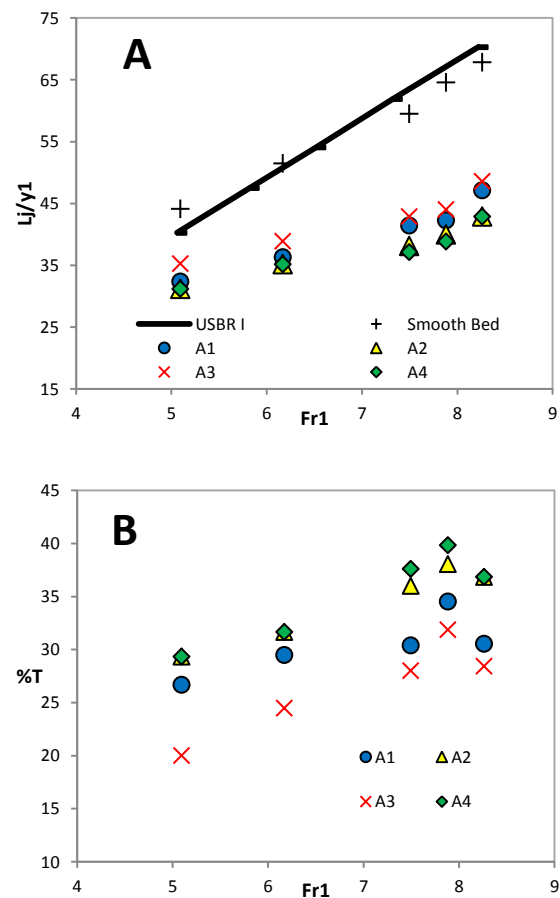


Fig. 6.A) Variations and B) Increment of relative hydraulic jump length Vs. Froude number

همانطور که مشخص است طول پرش هیدرولیکی نسبی برای کلیه آزمایش‌ها کمتر از طول پرش روی بستر صاف است و این رفتار با افزایش عدد فرود بیشتر شدت می‌یابد. در واقع کاهش طول پرش به دلیل برهم زدن مسیر جریان در اثر تکانه‌های سازه‌ای و تغییر اندازه حرکت جریان ورودی بواسطه موانع معلق است. به عبارتی دیگر تکانه‌ها باعث آشفستگی و در نتیجه میرایی جریان و کاهش طول پرش

۳-۴- افت نسبی انرژی

دبی و افزایش سرعت، متعاقباً در پایین دست کاهش عمق صورت می‌گیرد. از آنجاکه اثر انرژی فشاری در «معادله انرژی» در شرایط زیربحرانی بسیار بیشتر از انرژی جنبشی می‌باشد، اختلاف انرژی بین مقاطع فوق بحرانی و زیر بحرانی افزایش یافته و متعاقباً افت انرژی افزایش می‌یابد.

۴- نتیجه‌گیری

از آنجا که ویژگی اصلی موانع معلق کروی مهاری شده به کف حوضچه، متحرک و نوسان‌پذیر بودن آن است می‌توان آن را به اختصار بلوک‌های نوسان‌پذیر یعنی نقطه مقابل بلوک‌های صلب (مانند بلوک‌های میانی) نامید. نتایج این پژوهش نشان داد که این نوع بلوک‌ها می‌توانند به میزان قابل توجهی بر ویژگی‌های پرش هیدرولیکی اثر گذار باشند. آرایش‌های مورد استفاده در این پژوهش می‌توانند افت انرژی را حداکثر ۱۴ درصد و بطور میانگین ۱۱ درصد نسبت به پرش کلاسیک افزایش دهند. مقایسه آرایش نوع ۳ با دیگر آرایش‌ها نشان می‌دهد که تا حدودی حضور المان‌های کمتر در ردیف‌های اول باعث اثرگذاری کمتر بر ویژگی‌های پرش شده است. درصد کاهش طول پرش از ۱۷ الی ۴۰ درصد متغیر است اما بطور میانگین طول پرش ۳۱ درصد کاهش یافته است. در حضور این نوع موانع طول غلتابی بطور میانگین ۴۸ درصد کاهش یافته است. بلوک‌های نوسان‌پذیر حداکثر ۲۷ درصد و بطور میانگین ۲۱ درصد باعث کاهش عمق ثانویه شدند. تغییر آرایش این سازه‌ها، تفاوت چشمگیری در میزان استهلاك انرژی و عمق ثانویه نسبت به یکدیگر ایجاد نکرد ولی با این حال آرایش نوع ۴ بیشترین و نوع ۳ کمترین اثرگذاری را بر ویژگی‌های پرش هیدرولیکی داشت. به منظور کاربردی کردن چنین سازه‌ای نیاز به آزمایش‌های بیشتری در خصوص یافتن طول مهار و قطر بهینه موانع در محدوده گسترده‌ای از اعداد فرود است.

References

1-Bradley J. N. & Peterka A. J. 1957a. The hydraulic design of stilling basins: hydraulic jumps on an horizontal apron (Basin I) . J. Hydraul. Div., ASCE. 83 (HY5).

۵- مراجع

به منظور بررسی افت انرژی، از پارامترهای افت انرژی نسبی  $(R_L = \frac{E_L}{E_1})$  و درصد نرخ افت انرژی  $(G = \frac{E_L - E_L^*}{E_L^*} \times 100)$  در مقابل عدد فرود استفاده شد.  $E_L$  و  $E_L^*$  به ترتیب اختلاف انرژی جریان فوق بحرانی بالادست و زیر بحرانی پایین دست پرش در بستر صاف افقی و بستر مجهز به موانع کروی معلق است. شکل (۸-الف) نشان می‌دهد که چنین موانعی می‌توانند تا ۷۴ درصد باعث افت انرژی نسبی شوند و با توجه به شکل (۸-ب) تا بیش از ۱۴ درصد افت انرژی را نسبت به بستر صاف افزایش دهند.

شکل ۸. الف) تغییرات و ب) افزایش افت نسبی انرژی در برابر فرود در بستر صاف و انواع آرایش‌ها

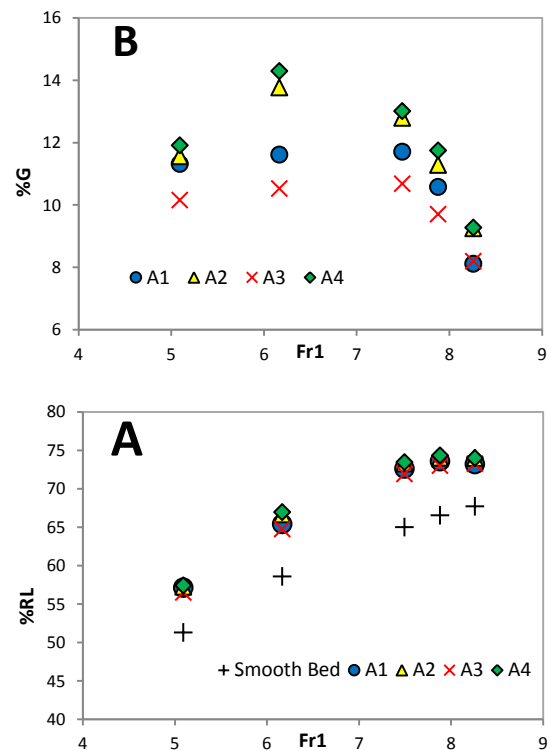


Fig. 8. A) Variations and B) Increment of relative energy dissipation Vs. Froud number

همچنین این نمودارها بیان می‌کنند که تغییر آرایش اثر چندانی بر میزان استهلاك انرژی ندارد. در خصوص افزایش اتلاف انرژی می‌توان چنین بیان کرد که حضور موانع باعث انتقال بخشی از انرژی جریان جت ورودی، به سطح آب و در نتیجه افزایش سرعت در پایین دست می‌شود. بنابراین با ثابت بودن



- 14-Shafai Bejestan M. & Nici K. 2009. Effect of roughness shape on the sequent depth ratio of hydraulic jump. *J. Water and Soil Science*.1(1),165-176 (In Persian).
- 15-Ead S.A & Rajaratnam N. 2002. Hydraulic jumps on corrugated beds. *Journal of Hydraulic Engineering* 128(7), 656-663.
- 16-Izadjoo F. & Shafai-Bajestan M. 2007. Corrugated bed hydraulic jump stilling basin. *Journal of Applied Sciences* 7(8), 1164-1169.
- 17-Abbaspour A., Hosseinzadehdalir A., Farsadizadeh D. & Sadraddini A.A. 2009. Effect of sinusoidal corrugated bed on hydraulic jump characteristics. *J. of Hydro-environmental Research*. 3(1), 109-117.
- 18-Najandali A., Esmaili K. & Farhodi J. 2012. The Effect of triangular blocks on the characteristics of hydraulic jump. *University of Mashhad, J. Water and Soil*. 26(2), 282-289.(In Persian)
- 19-Parsamehr P., Hosseinzadehdalir A., Farsadizadeh D. & Abbaspour A. 2012. Hydraulic Jump on a Bed with Half Cylindrical Shape Bars. *J. Water and Soil*. 26(3), 775-785. (In Persian)
- 20-Carollo F.G., Ferro V. & Pampalone V., 2007. Hydraulic jumps on rough beds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(9), 989-999.
- 21-KhajeGodari M., Shafai Bejestan M. 2017. Characteristics of Hydraulic Jump on The Bed with Permeable Six Legs Elements. *J. Irrigation Science and Engineering*, 40(2), 15-25.(In Persian)
- 22-Basco D.R. 1971. Optimized Geometry for Baffle Blocks in Hydraulic Jumps. XIV IAHR-Congress Paris, 2(B18): 1-8.
- 24-Tokyay N.D. 2005. Effect of channel bed corrugations on hydraulic jumps. *Global Climate Change Conference, EWRI, May 15-19, Anchorage, Alaska, USA*, 408-416.
- 2-Rajaratnam N. 1965. The hydraulic jump as a wall jet. *J. Hydraulic. Am. Soc. Civ. Eng.*, 107-132.
- 3-Hager W.H. 1992. Energy dissipators and hydraulic jump. *Water science and technology library Vol. 8*. pp. 106-110.
- 4-Chanson H. 2015. *Energy Dissipation in Hydraulic Structures*, CRC Press, IAHR Series Book, London, UK, 178 pages.
- 5-Steele I.C. 1926. Baffle Piers at Toe of Dam Dispel Energy of Flow. *Engineering News-Record* 96(22), 886-889, 97(20), 800-802.
- 6-Steele I.C. & Monroe R.A, 1929. Baffle-Pier Experiments on Models of Pit River Dams . *Trans . ASCE* 93(1), 451-546.
- 7-Rama Murthy A.S. & Seetharamiah K., 1961. Energy Dissipation by Body Shapes at High Velocity Flow. *J. Irrigation and Power* 18(4), 300-314.
- 8-Rajaratnam N. 1964. The Forced Hydraulic Jump., *J. Water Power* 16(Jan):14-19: 16(Feb): 61-65.
- 9-Lakshmana Rao N.S. & Suryanarayana Rao H.S. 1968. Some Studies on New Types of Friction Blocks. *J. Irrigation and Power* 25(1), 29-40.
- 10-Pillai N.N., Goel A. & Dubey A.K. 1989. Hydraulic jump type stilling basin for low Froude numbers. *Hydraulic Eng. ASCE*, 115(7), 989-994.
- 11-Peterka A.J. 1958. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators*. US Department Interior, Bureau of Reclamation, Engineering Monograph, 25. Denver, Col.
- 12-Rajaratnam N. 1968. Hydraulic Jumps on Rough Beds. *Trans . Engineering Institute of Canada* 11(A-2). 1-8.
- 13-MohamedAli H.S. 1991. Effect of Roughened Bed Stilling Basin on Length of Rectangular Hydraulic Jump, *J. Hydraulic Engineering, ASCE*, 117(1), 83-93.

# Effect of Suspended Anchored Spherical Energy Dissipator Blocks on Hydraulic Jump Characteristics

Pooria Khedri Mirghaed<sup>1</sup>, Javad Ahadiyan<sup>2\*</sup>, Amin Varshosaz<sup>3</sup>

1. Ms.c. Student of Hydraulic Structure in Shahid Chamran University (SCU) of Ahvaz, Iran.
2. Associate Professor of Shahid Chamran University (SCU) of Ahvaz, Iran.
3. Ms.c. Student of Hydraulic Structure in Shahid Chamran University (SCU) of Ahvaz, Iran.

\*ja.ahadiyan@gmail.com

## Abstract:

In an open channel, A hydraulic jump is the rapid varied flow which results water surface level increment and energy dissipation. In most cases, by this phenomenon energy dissipation process is carried out in downstream of hydraulic structures such as weirs, sluice gates and so on. The hydraulic jump is controlled by utilizing a structure called stilling basin. Building such structure can be very costly. Several approaches, such as bed roughness, chute blocks, baffle blocks and end sill, have been proposed to reduce the construction cost. For the first time, it is recommended to use the suspended anchored spherical energy dissipator blocks. From a practical point of view, this structure is very similar to baffle blocks but due to having less drag coefficient compared to the baffle blocks, they will suffer less force. Therefore, the slab thickness of basin decreases to a certain extent. Furthermore, due to fluctuations, using such dissipators leads to an increase in energy dissipation. These blocks have a relative density lower than water and are anchored by a thin resistant plastic to the floor of stilling basin.

To the best of the authors' knowledge, there are no studies on using these structures in the basin and analysis of their influences on the hydraulic jump characteristics. There are several interesting questions about the effect of such structures on the conjugate depth, jump length, and optimization of the stilling basin design, as well. The main goal of the authors' study is to answer these queries.

In this work, 30 experiments were conducted in the range of froud numbers of 5-8 and in the form of four arrangement types. It should be noted that, five experiments belong to testing the designed bed without any blocks. The Experiments were carried out in a flume with glass walls, 8 m length, 35 cm width and 40 cm heights. In order to form the hydraulic jump, the height of the walls were extended up to 80 cm in the beginning part of the flume and a chute with 30 degree angle and the height of 40 cm was set up. Next, in order to modeling such structures the obstacles diameter was set to 4 cm i.e. 1.2 times more than highest initial depth in classical hydraulic jump of present study. The size of the anchor length was chosen in such a way that the blocks do not enter into the roller environment and remain in front of impinging jet stream into the stilling basin, since no energy dissipation will occur if they enter into the roller ambient.

The results showed that the arrangements decrease the jump length and conjugate depth respectively, in average to 31% and 21%. Additionally, the energy dissipation using the suspended blocks in average is around 68% that is approximately 11% more than smooth bed. In all arrangements for experiments, conjugate depth reduction and energy dissipation increment is not impressive compared to one another, but even so the most and lowest effective arrangement respectively, was type four and type three.

**Keywords:** Suspended-Spherical-Blocks, Energy Dissipation, Hydraulic Jump Length, Conjugate Depth