# بررسی عددی اثر تغییر ارتفاع بلوک‌های مستطیلی قائم بر طول پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش

عظیم نیکدل[۱] و ابراهیم نوحانی[۲*]

۱) دانشجوی کارشناسی ارشد گروه عمران، سازه‌های هیدرولیکی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

۲) گروه عمران، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

[*] نویسنده مسئول: **Nohani_e@yahoo.com**

**تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰** **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱**

## چکیده

**تغییر رژیم جریان از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی که با افزایش ناگهانی سطح آب و افت انرژی قابل توجه همراه است، پرش هیدرولیکی نام دارد. هنگامی که جریان با سرعت زیاد با توده آب در حال حرکت با سرعت کم برخورد نماید، ابتدا جریان با سرعت زیاد در زیر توده آب حرکت می‌کند، سپس به سمت سطح آب، پخش و گسترش می‌یابد. پرش هیدرولیکی پدیده‌ایی رایج در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی مثل سرریزها و دریچه‌ها می‌باشد. معمولا در انتهای سازه‌هایی مانند سرریز سدها، تنداب‌ها و آبشارها و دریچه‌ها به‌دلیل سرعت زیاد جریان نیاز به سازه‌هایی برای استهلاک جریان و کاهش سرعت آن به‌منظور جلوگیری از فرسایش و حفاظت از تاسیسات پایین‌دست می‌باشد که یکی از متداول‌ترین این سازه‌ها حوضچه‌های آرامش می‌باشد که در آن‌ها با شکل‌گیری پرش هیدرولیکی و عبور جریان از رژیم فوق بحرانی به رژیم زیر بحرانی انرژی جریان مستهلک می‌شود. پارامترهایی چون طول پرش هیدرولیکی، نسبت عمق ثانویه به عمق اولیه و میزان افت انرژی از جمله پارامترهای مهمی هستند که بر اقتصادی کردن سازه حوضچه آرامش تاثیر فراوانی دارند. هدف از این تحقیق بررسی تاثیر تغییر ارتفاع بلوک‌های مستطیلی قائم در حوضچه آرامش بر مشخصه‌های پرش هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D است. نتایج نشان داد افزایش ارتفاع بلوک‌ها، پرش هیدرولیکی و استهلاک انرژی کامل جت جریان خروجی از زیر دریچه در طول کمتری نسبت به شرایطی که ارتفاع بلوک‌ها کم باشد، اتفاق می‌افتد.**

**واژه‌های کلیدی:** حوضچه آرامش، پرش هیدرولیکی، ارتفاع بلوک ها، بلوک مستطیلی قائم و Flow-3D.

**مقدمه**

آب در زمانی که از سرریز[1] عبور می‌کند یا از مجراهای تحتانی خارج می‌شود دارای سرعت فوق‌العاده زیاد است که ممکن است منجربه تخریب و یا خستگی سازه‌های پایین‌دست گردد، در چنین مواقعی جریان فوق بحرانی بوده و انرژی جنبشی زیاد و مخرب دارد. برای اینکه این انرژی جنبشی مخرب از آب گرفته شود، سازه‌های مستهلک کننده انرژی[2] به‌کار گرفته می‌شوند. برای کاهش خطرات احتمالی ناشی از این جریان‌ها، معمولاً از حوضچه‌های آرامش[3] در پایاب این سازه‌ها استفاده می‌شود تا با تشکیل جهش هیدرولیکی[4] مقدار انرژی موجود کاهش داده شود. پرش هیدرولیکی پدیده‌ای رایج در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی می‌باشد، در این پدیده رژیم جریان از حالت فوق بحرانی به زیربحرانی تغییر می‌کند و سطح آزاد آب به‌طور ناگهانی افزایش می‌یابد که باعث افت قابل توجه انرژی می‌گردد. در این پدیده تلاطم و غلطاب‌های سطحی همراه با اختلاط هوا در جریان آب ایجاد می‌شود. پرش هیدرولیکی در کانال‌های باز دارای کاربردها و خواص فراوانی است که می‌توان به کاهش انرژی آب پایین‌دست جریان عبوری از روی سرریزها و سازه‌های هیدرولیکی و جلوگیری از فرسایش قسمت‌های پایین‌دست (پایاب)، افزایش رقوم سطح آب در کانال‌ها در سامانه‌های انتقال و توزیع آب، مقابله با نیروی زیر فشار در سازه‌های هیدرولیکی از طریق افزایش عمق آب در پایین‌دست سازه‌ها، هوادهی جریان‌ها در شبکه توزیع آب و کلرزدایی فاضلاب، مخلوط نمودن مواد شیمیایی با آب جهت تصفیه آب یا فاضلاب و نیز جهت مصارف کشاورزی، افزایش دبی خروجی از زیر دریچه‌ها با دور نگه داشتن سطح پایاب و در نهایت افزایش ارتفاع مؤثر در عرض دریچه‌ها و استفاده از پرش هیدرولیکی برای شستشوی رسوبات تجمع یافته در جلوی دریچه در مجاری تخلیه رسوب، اشاره نمود. حوضچه‌های آرامش سازه‌هایی هستند که جهش آبی کامل در داخل آن‌ها تشکیل می‌گردد. برای افزایش راندمان حوضچه‌های آرامش از ضمایمی مانند بلوک‌های کف[5] و بلوک‌های پای تنداب[6] یا آب‌پایه‌ها استفاده می‌شود، این اجزا باعث استقرار جهش درون حوضچه، کاهش طول جهش هیدرولیکی و استهلاک بخش قابل ملاحظه انرژی جنبشی جهش هیدرولیکی می‌گردند. Eloubaidy و همکاران (۱۹۹۹) آزمایش‌هایی را برای بررسی اثر اندازه، انحنا و موقعیت بلوک‌های میانی کف منحنی شکل در استهلاک انرژی و کنترل پرش هیدرولیکی انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد که بلوک‌های منحنی در کم کردن انرژی جنبشی پایین‌دست نسبت به بلوک‌های با لبه مستقیم و مستطیلی موثرتر است. Vermaو Goel (۲۰۰۰) آزمایش‌های خود را برای یافتن حوضچه آرامش اقتصادی برای خروجی‌های دایره‌ای شکل انجام

1- Spill ways
2- Energy dissipators
3- Stilling Basins
4- Hydraulic Jump
5- Baffle Block
6- Chute Blocks

دادند و مشخص کردند که بلوک‌های گوه‌ای شکل شکافنده با زاویه راس ۱۵۰ درجه بهترین عملکرد را در پخش کردن جت آب روی پهنای حوضچه آرامش در طول کوتاه‌تری دارند. Bessaih و Rezak (۲۰۰۲) به بررسی آزمایشگاهی بلوک-های میانی با وجه جلویی شیبدار روی طول پرش هیدرولیکی پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که بلوک‌های میانی با وجه شیب‌دار در بالادست آن در کاهش طول پرش هیدرولیکی موثرتر از بلوک‌های با وجه عمود و بسترهای زبر است. Neisi و همکاران (۲۰۱۵) به بررسی مقدار کاهش مشخصات پرش هیدرولیکی در اثر وجود زبری‌های غیر ممتد پرداختند، نتایج ایشان نشان داد که زبری‌ها می‌توانند مشخصات پرش شامل طول پرش را به‌طور متوسط ۳۵ درصد کاهش دهند و موثرترین شکل در کاهش طول، زبری لوزی شکل بود. طباطبایی و همکاران (۱۳۹۵)، به بررسی عددی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بستر سینوسی پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش افزایش عدد فرود جریان، طول ناحیه غلطاب و پرش هیدرولیکی افزایش می‌یابد و با تغییر ارتفاع بلوک‌ها طول نسبی منطقه غلطاب حدود ۴۰ درصد افزایش می‌یابد، همچنین طول پرش با افزایش ارتفاع بلوک‌ها کاهش می‌یابد. در این تحقیق به بررسی مهم‌ترین اثر جهش هیدرولیکی (کاهش انرژی جریان) و چگونگی کنترل و تثبیت جهش در حوضچه‌های آرامش پرداخته می‌شود.

**مواد و روش‌ها**

نرم‌افزار Flow-3D، نرم‌افزاری چندجانبه و سازگار با شرایط پیچیده جریان در مدل‌سازی به صورت دو بعدی و سه بعدی است. این نرم‌افزار مختص دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است و توسط شرکت Flow Science ارائه شده است. روش حل معادلات در این نرم‌افزار بر اساس روش حجم محدود است. مدل‌های ریاضی از جمله ابزارهای توانمند در زمینه حل معادلات پیچیده مربوط به مکانیک سیالات هستند. امروزه با افزایش سرعت کامپیوترها، استفاده از این مدل‌ها گسترش چشمگیری یافته است. یکی از مزیت‌های مدل‌های ریاضی نسبت به مدل‌های فیزیکی، کم هزینه‌تر بودن آن‌ها است، ضمن اینکه تغییرات مختلف مانند تغییر در هندسه سازه به راحتی در این مدل‌ها امکان‌پذیر است. استفاده از اینگونه نرم‌افزارها با توجه به توانایی گرافیکی بالا و ارائه نتایج سه بعدی جریان با توجه به هر نوع شکل هندسی سازه هیدرولیکی، می‌تواند اطلاعات فراوانی به طراح در جهت بهینه‌سازی شکل هندسی سازه مورد نظر ارائه نماید. همچنین موجب ایجاد تغییرات کمتر در مدل هیدرولیکی و زمان مطالعات شود و یا حتی در مواردی جایگزین ساخت و انجام مطالعات هیدرولیکی شود. از آنجا که هدف از این تحقیق شبیه‌سازی عددی اثر تغییر فاصله و ارتفاع بلوک‌های یکپارچه مستطیلی بر طول جهش هیدرولیکی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D است، در این تحقیق از نتایج آزمایشگاهی Ravar و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد. در ادامه به مشخصات مدل آزمایشگاهی و تجهیزات استفاده شده در آزمایشات آن محققین اشاره شده است.

آزمایشات موردنظر در کانالی با طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۲، ۰/۲۵ و ۰/۵ متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران انجام گرفت. Ravar و همکاران (۲۰۱۲) زبری‌های مستطیلی انتخابی با پهنای تاج ثابت ۲ سانتی‌متر در سه ارتفاع (t) مختلف ۲، ۳ و ۴ سانتی‌متر را مورد بررسی قرار دادند و در هر ارتفاع سه فاصله (s) متفاوت بین بلوک‌ها در نظر گرفته شد، به‌طوری‌که در کل چهار نسبت s/t به‌دست آمد (شکل ۱).

**شکل ۱: مدل آزمایشگاهی**

### پارامترهای مؤثر در پرش هیدرولیکی

اغلب پدیده‌ها در هیدرولیک به طرق پیچیده‌ای به پارامترهای هندسی و مؤلفه‌های جریان بستگی دارند. در تحلیل ابعادی با توجه به مجهول بودن ارتباط این پارامترها با هم، پس از تجزیه و تحلیل آن‌ها یکسری پارامتر بی‌بعد یا اصطلاحاً عدد بی‌بعد استخراج می‌گردد. با توجه به اینکه این اعداد علاوه بر دربرداشتن چندین پارامتر مختلف از لحاظ ابعادی نیز بی‌بعدند، یافتن ارتباط بین آن‌ها بسیار آسانتر و سریعتر از برقراری ارتباط بین پارامترهای اولیه خواهد بود. پارامترهای تأثیرگذار پرش هیدرولیکی عبارتند از:

رابطه ۱: $$L_j = F(\rho, \mu, v_1, y_1, B, g, y_2)$$

که در آن، خصوصیات سیال جریان یافته شامل جرم واحد حجم سیال ($\rho$) و لزوجت دینامیک ($\mu$)، خصوصیات قابل تغییر جریان شامل سرعت متوسط ورودی($v_1$)، عمق جریان فوق بحرانی ($y_1$)، عمق جریان در انتهای پرش($y_2$)، عرض

مقطع (B)، شتاب ثقل (g) و طول پرش ($L_j$) می باشد. در جدول ۱ واحد و ترکیب ابعادی هر یک از متغیرهای فوق آورده شده است.

**جدول ۱: پارامترهای مؤثر در پرش هیدرولیکی**

| متغیر | واحد | ترکیب ابعادی |
|---|---|---|
| لزوجت دینامیک ($\mu$) | $\frac{Kg}{m.s}$ | $ML^{-1}T^{-1}$ |
| جرم واحد حجم سیال ($\rho$) | $\frac{Kg}{m^3}$ | $ML^{-3}$ |
| سرعت ورودی($v_1$) | $\frac{m}{s}$ | $LT^{-1}$ |
| عمق فوق بحرانی ($y_1$) | m | L |
| عمق انتهای پرش ($y_2$) | m | L |
| عرض مقطع(B) | m | L |
| شتاب ثقل (g) | $\frac{m}{s^2}$ | $LT^{-2}$ |

بر اساس تئوری باکینگهام با توجه به اینکه m=3 و n=8 می‌باشد، لذا در مجموع ۵ پارامتر بی‌بعد قابل استخراج است. برای یافتن پارامترهای بی‌بعد موثر در پرش هیدرولیکی در حالت کلی سه متغیر بی بعد $y_1$، $v_1$ و $\mu$ را به‌عنوان متغیرهای تکراری که مجموعاً ابعاد M، L و T را دارا هستند، انتخاب می‌گردند. بر این اساس پارامترهای بی‌بعد اولیه به صورت زیر به‌دست می‌آیند:

رابطه ۲: عدد رینولدز $$\pi_1 = \frac{\rho v_1 y_1}{\mu}$$

رابطه ۳: عدد فرود $$\pi_2 = \frac{v_1}{\sqrt{g y_1}}$$

رابطه ۴: $$\pi_3 = \frac{B}{y_1}$$

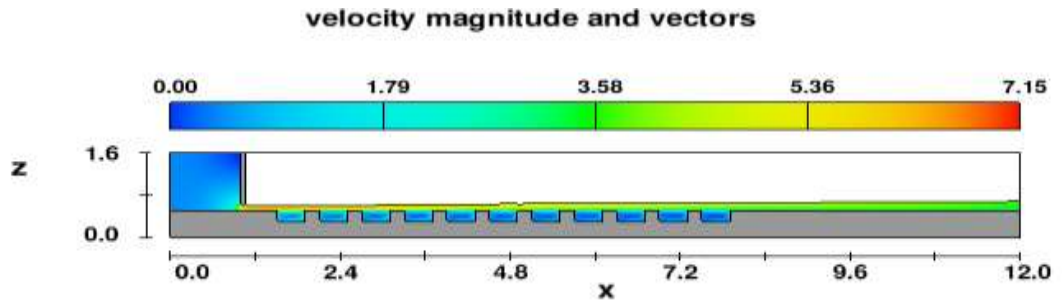
رابطه ۵: $$\pi_4 = \frac{y_2}{y_1}$$

رابطه ۶: $$\pi_5 = \frac{L_j}{y_1}$$

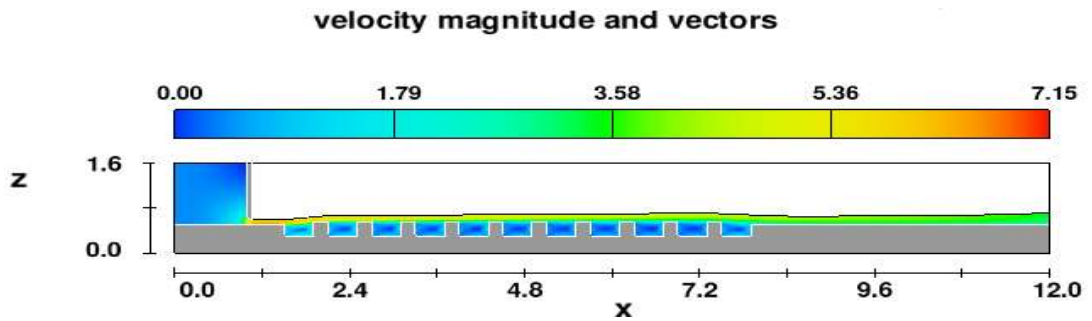
## نتایج و بحث

### نتایج حاصل از تغییر ارتفاع بلوک‌ها بر طول ناحیه غلطاب در حوضچه آرامش با بلوک‌های مستطیلی قائم

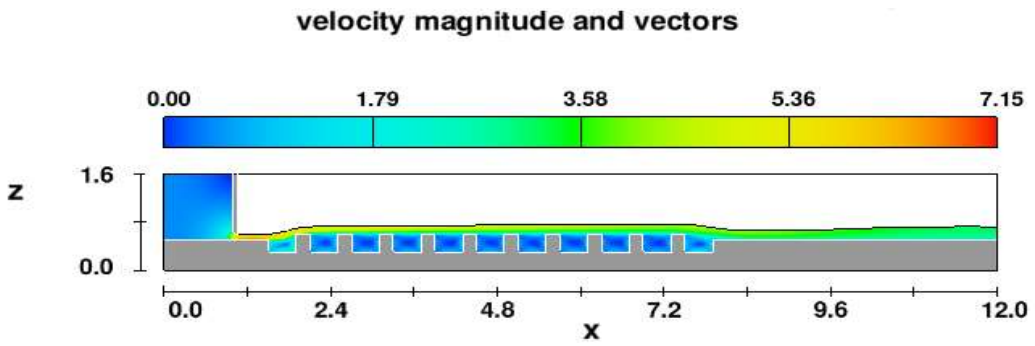
همان‌طور که در شکل‌های ۲، ۳ و ۴ مشاهده می‌شود تغییر خصوصیات پرش هیدرولیکی در شرایط اعمال فاصله بلوک و عدد فرود جریان ثابت و نسبت ارتفاع‌های مختلف بلوک ۲، ۰/۶۶ و s/t= ۰/۵ نشان داده شده است تا بتوان شاهد اثر تغییر ارتفاع بلوک بر مشخصات پرش در حوضچه‌های با بلوک‌های مستطیلی قائم بود که نشان دهنده اثر ارتفاع‌های متفاوت بلوک و یا نسبت‌های مختلف فاصله به ارتفاع بلوک‌های مستطیلی قائم هستند. این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش ارتفاع بلوک‌ها و یا کاهش نسبت فاصله بلوک‌ها به ارتفاع آن‌ها، طول ناحیه غلطاب و پرش هیدرولیکی کاهش می‌یابد و در شرایط اعمال بیشترین ارتفاع بلوک در نظر گرفته شده برای این تحقیق یا s/t= ۰/۵، شاهد مستغرق شدن پرش در همان ابتدای خروج جریان از زیر دریچه هستیم و جریان خروجی به سرعت مستهلک می‌شود و طول پرش با افزایش ارتفاع بلوک‌ها کاهش چشمگیری دارد. بر اساس خروجی‌های تصویری به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی، طول نسبی منطقه غلطاب با افزایش ارتفاع بلوک و یا کاهش نسبت فاصله بلوک‌ها به ارتفاع آن‌ها و در مقایسه ۰/۵ و s/t=۲، بین ۶۰ تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. از این آزمایش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ارتفاع بلوک‌ها، پرش هیدرولیکی و استهلاک انرژی کامل جت جریان خروجی از زیر دریچه در طول کمتری نسبت به شرایطی که ارتفاع بلوک‌ها کم باشد، اتفاق می‌افتد.




**شکل ۲: الگوی جریان و پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک‌های مستطیلی قائم با نسبت s/t=2**



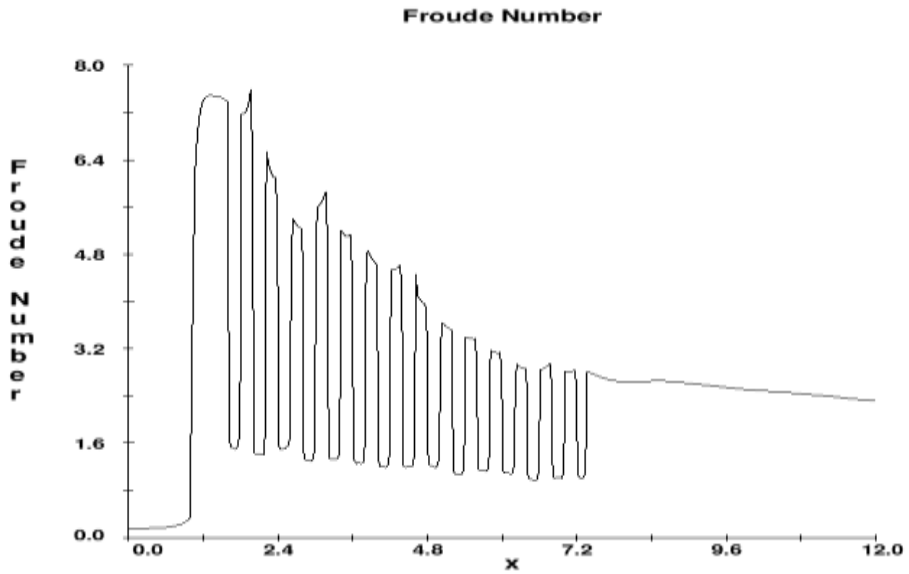

**شکل ۳: الگوی جریان و پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک‌های مستطیلی قائم با نسبت s/t=0.66**




**شکل ۴: الگوی جریان و پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک‌های مستطیلی قائم با نسبت s/t=0.5**

**نمایش توزیع سرعت و الگوی جریان در حوضچه آرامش با بلوک‌های مستطیلی قائم با استفاده از نمودار و تصاویر سه بعدی**

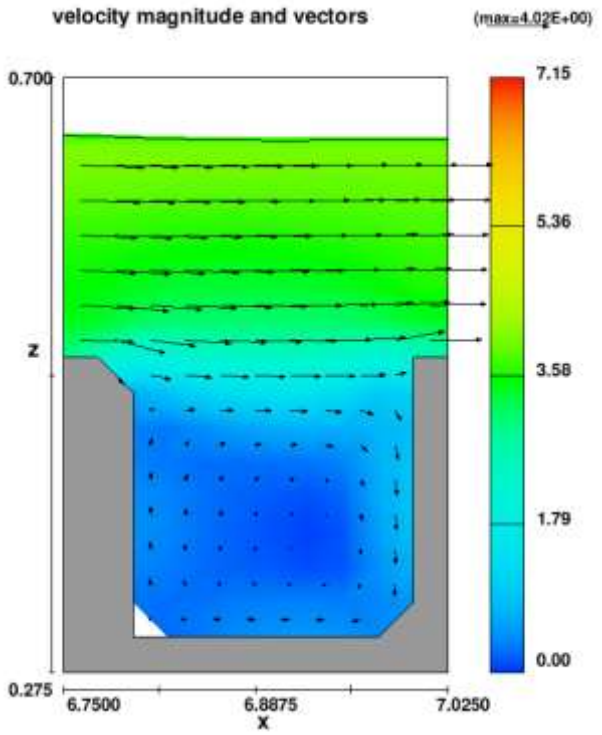
شکل ۵ پروفیل طولی عدد فرود در پرش هیدرولیکی در یک خط ارتفاعی مشخص را نشان می‌دهد. افزایش ناگهانی عدد فرود در ابتدا نشان دهنده جت آب عبوری از زیر دریچه در جهت محور Xها است که از ۷ نیز فراتر می‌رود و پس از آن از میزان عدد فرود کاسته می‌شود و بلوک‌های مستطیلی قائم موجود در حوضچه، تاثیر خود را بر کاهش عدد فرود و افزایش استهلاک انرژی نشان می‌دهند.




**شکل۵: پروفیل طولی عدد فرود در پرش هیدرولیکی**

در تحقیقات آزمایشگاهی با عکسبرداری به‌صورت مستقیم از نیمرخ طولی پرش آبی و رقومی کردن عکس‌ها با استفاده از نرم‌افزار گرافر، اطلاعات مربوط به پروفیل سطح آب در پرش ثبت می‌شود و این در حالی است که خروجی‌های نرم افزار

Flow-3D بسیاری از پارامترها و خصوصیات پرش هیدرولیکی را به‌صورت تصاویر رنگی و به خوبی و با دقت بالا نمایش می‌دهند. در شکل ۶ برآیند سرعت و جهت جریان با استفاده از بردار نمایش داده شده است. با توجه به این شکل در فاصله دو بلوک شاهد گردش جریان در جهت عقربه‌های ساعت هستیم که همین گردابه انرژی جریان را کاهش می‌دهد و یک ناحیه با سرعت‌های مینیمم را در بین دو بلوک نشان می‌دهد و در روی بلوک‌ها شاهد جریان رویه‌ای با سرعت بیشینه هستیم که در مورد این دو بلوک به ۴ متر بر ثانیه می‌رسد.

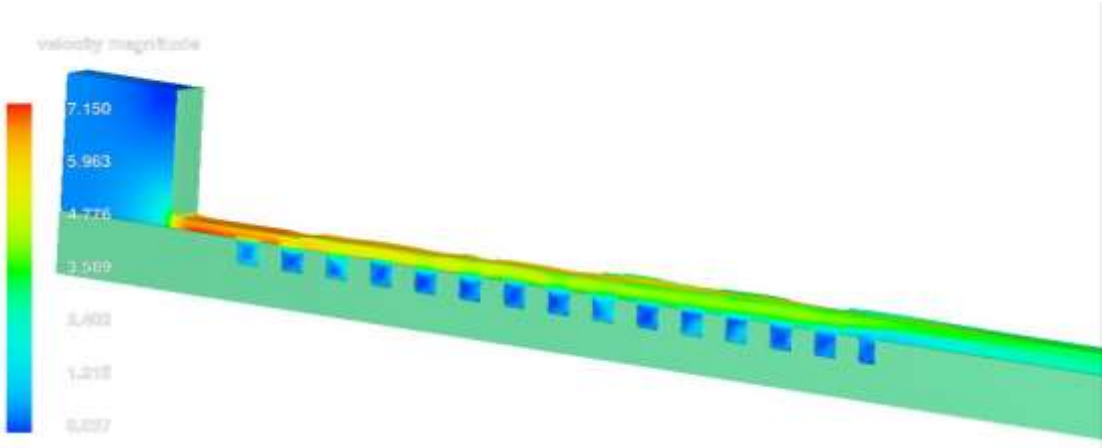



**شکل۶: نمایش بردارهای جهت و سرعت جریان در فاصله دو بلوک متوالی میانی**

در شکل ۷ تصویر سه بعدی توزیع سرعت و الگوی جریان خروجی نرم‌افزار نمایش داده شده است که در این تصویر اثر بلوک‌های مستطیلی قائم بر پرش هیدرولیکی تشکیل شده و استهلاک انرژی نمایان است. پروفیل سطح آب تشکیل شده نیز در این تصویر به‌خوبی نمایش داده شده است.

در این تحقیق به‌منظور شبیه‌سازی آشفتگی جریان و پرش هیدرولیکی تشکیل شده در حوضچه‌های با بلوک‌های مستطیلی قائم، از مدل آشفتگی RNG[1] استفاده شد که با توجه به نتایج به‌دست آمده از دقت خوبی برخوردار است.

1- Renormalized group




**شکل ۷: تصویر سه بعدی عبور جریان از زیر دریچه و تشکیل پرش هیدرولیکی**

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی عددی اثر تغییر ارتفاع بلوک‌های مستطیلی قائم بر طول پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد که در طول نسبی منطقه غلطاب با افزایش ارتفاع بلوک و یا کاهش نسبت فاصله بلوک‌ها به ارتفاع آن‌ها و در مقایسه ۰/۵ و s/t=۲، حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع بلوک‌ها، پرش هیدرولیکی و استهلاک انرژی کامل جت جریان خروجی از زیر دریچه در طول کمتری نسبت به شرایطی که ارتفاع بلوک‌ها کم باشد، اتفاق می‌افتد. تغییر در ارتفاع بلوک‌ها تاثیر بیشتری بر کاهش طول ناحیه غلطاب، استهلاک انرژی و مشخصات پرش هیدرولیکی دارد.

## منابع

**طباطبایی، م.، حیدرنژاد، م. و بردبار، ا. ۱۳۹۵.** بررسی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بستر سینوسی توسط مدل Flow 3D. مجله مهندسی عمران مدرس، ۱۴ (۲۰): ۴۷-۳۷.

**Bessaih, N. and Rezak, A. B. A. 2002.** Effect of baffle block with sloping front face on the length of the jump. Journal of Civil Engineering, The Institution of Engineers Bangladesh, Vol. CE 30.

**Eloubaidy, A. F., Al-Baidhani, J. and Ghazali, A. H. 1999.** Dissipation of hydraulic energy by curved baffle blocks. Pertanika Journal of Science & Technology, 7(1): 69-77.

**Neisi, K., Shafai Bejestan, M., Ghomshi, M. and Kashefipoor, S. M. 2015**. Investigation of Hydraulic Jump Characteristics at Roughened Bed of Sudden Expansion Stilling Basin. J. Irrig. Sci. Eng, 37(2): 83-93.

**Ravar, Z., Farhoudi, J. and Najandali, A. 2012.** Effect of Vertical Trapezoidal Rough Bed on Hydraulic Jump Characteristics and Energy Loss. J. Water & Soil, 26(1): 85-94.

**Verma, D. and Goel, A. 2000.** Stilling basins for pipe outlets using wedge-shaped splitter lock. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 26(3): 179-184.

# Numerical study of the effect of height change of vertical rectangular blocks on the length of hydraulic jump in the relaxation pool

A. Nikdel[1] and E. Nohani[2*]

1) MSc student of Civil engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

2) Department of Civil engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

*** Correspondence author: Nohani_e@yahoo.com**

**Received Date: 2019.07.10** **Accepted Date: 2020.06.22**

## Abstract

**Changing the flow regime from supercritical to subcritical, which is accompanied by a sudden increase in water level and significant energy loss, is called hydraulic jumping. When a high-velocity water flow collides with a moving water mass at a low velocity, the current first moves rapidly below the water mass, then it spreads to the surface of the water. Hydraulic jumping is a common phenomenon on downstream of hydraulic structures such as crests and dam valves. Usually at the end of structures such as crest of dams, hurricanes and waterfalls and valves due to high water flow, structures are needed to dissipate water flow and reduce its speed to prevent erosion and protect downstream facilities. One of the most common of these structures is the settling basins, in which the energy flow is dissipated by the formation of hydraulic jump and the passage of water flow from the supercritical regime to the subcritical regime. Parameters such as hydraulic jump length, secondary depth to primary depth ratio and energy loss are important parameters that have a great impact on economizing the structure of the settling basin. The aim of this study was to investigate the effect of changing the height of vertical rectangular blocks in the settling basin on the hydraulic jump characteristics using Flow-3D software. The results showed that increasing the height of the blocks, hydraulic jump and full energy dissipation of the jet flow out of the sub-valve occurred less frequently than when the height of the blocks was low.**

**Keywords:** settling basin, hydraulic jump, height of the blocks, vertical rectangular blocks and Flow-3D.