

بررسی پرفش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بستر سینوسی توسط مدل Flow 3D

سید محمد طباطبایی^۱، محمد حیدر نژاد^{۲*}، امین بردبار^۳

۱- گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۳- گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۵

چکیده

با توجه به اهمیت بلوک‌های حوضچه‌های آرامش و تاثیر بسزای شکل و ابعاد آنها بر استهلاک انرژی و با نظر به اینکه تاکنون تحقیقات گوناگونی بر روی خصوصیات هیدرولیکی پرفش و در نتیجه خصوصیات حوضچه‌های آرامش صورت گرفته است اما کمتر تحقیقی بر روی اثر بلوک‌های یکپارچه سینوسی بر مشخصات جهش هیدرولیکی توسط مدل Flow-3D صورت گرفته است، لذا در این تحقیق به تجزیه و تحلیل تاثیر ارتفاع بلوک‌های سینوسی با استفاده از مدل Flow-3D که نرم افزاری توانمند در شبیه سازی آشفتگی جریان به صورت دو یا سه بعدی است، پرداخته شده است. محدوده تغییرات اعداد فرود در این تحقیق بین $4/6$ تا $12/2$ است این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود جریان از $4/2$ تا 11 ، طول ناحیه غلظاب و پرفش هیدرولیکی افزایش می‌یابد و با تغییر ارتفاع بلوک‌ها طول نسبی منطقه غلظاب حدود 30 تا 40 درصد افزایش می‌یابد و شاهد مستغرق شدن پرفش در همان ابتدای خروج جریان از زیر دریچه هستیم و جریان خروجی به سرعت مستهلک می‌شود و طول پرفش با افزایش ارتفاع بلوک‌ها کاهش می‌یابد و در مقایسه جریان خروجی از زیر دریچه برای دو $0/25$ و $0/75$ (شیب موج)، طول ناحیه غلظاب 40 تا 50 سانتی متر کمتر می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بستر سینوسی، پرفش هیدرولیکی، حوضچه آرامش، مدل Flow-3D

مقدمه

پرفش هیدرولیکی، معمولاً از ضمامم زیر در کف حوضچه‌ها استفاده می‌شود. زبری کف می‌تواند به صورت‌های مختلف نظیر سنگچین، موج‌های سینوسی، دوزنقه‌ای، مستطیلی و مثلثی یکپارچه در عرض آبراهه باشد. جهش هیدرولیکی پدیده‌ای است که موجب استهلاک انرژی در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی می‌گردد لذا حوضچه‌های آرامش، محل مناسبی برای ایجاد، کنترل و مهار جهش هیدرولیکی به شمار می‌آیند و بلوک‌های داخل این حوضچه‌ها باعث استقرار جهش در درون حوضچه و استهلاک بخشی از انرژی جنبشی پرفش هیدرولیکی و در نتیجه افزایش راندمان حوضچه‌های آرامش می‌شوند.

حوضچه آرامش سازه‌ای است که برای اتلاف انرژی جریان در پایین دست سرریزها، تندآبها و پایانه‌ها احداث می‌شود. هدف از ساختن آن تشکیل پرفش هیدرولیکی در داخل حوضچه می‌باشد که در این صورت جریان فوق بحرانی، قبل از رسیدن به قسمت‌های غیر کف سازی شده رودخانه به جریان زیر بحرانی تغییر حالت داده و از انرژی فوق العاده آن کاسته و از خرابی‌های احتمالی جلوگیری می‌گردد. جهشی که در یک کانال مستطیلی مستقیم و عریض افقی با کف صاف شکل می‌گیرد، جهش هیدرولیکی کلاسیک نامیده می‌شود (Chanson, 2015). جهت افزایش کارایی حوضچه‌های آرامش و کاهش طول

زبری زیاد باشد گرداب‌ها به صورت مستقل تشکیل شده و اگر فاصله خیلی نزدیک باشد سطح زبری به حالت یک سطح صاف عمل می‌نماید. وی این شرایط را، مبنای تقسیم بندی جریان، روی سطوح زبر بصورت ذیل قرار داد.

۱- جریان با زبری مجزا ۲- جریان با تداخل ضعیف ۳- جریان تقریباً صاف

ایزدجو و شفاعی بجستان (Izadjoo & Shafai- Bajestan, 2007)، در تحقیقی به بررسی تأثیر موج بودن بستر بر روی طول پرش و نوسانات زیر فشار در حوضچه‌های آرامش از نوع پرش هیدرولیکی پرداختند و در این راستا مقادیر نوسانات زیر فشارهای هیدرودینامیکی در موقعیت‌های مختلف زبری و برای شرایط هیدرولیکی متفاوت در محدوده اعداد فرود بین ۳/۷ تا ۱۲/۹، را اندازه‌گیری کردند. ایشان در مطالعات یاد شده تأثیر نیروهای هیدرودینامیکی و بالابرنده در بستر صاف را مورد بررسی قرار دادند.

نیسی و همکاران (Neisi et al., 2015) به بررسی مقدار کاهش مشخصات پرش هیدرولیکی در اثر وجود زبری های غیر ممتد پرداختند، نتایج ایشان نشان داد که زبری‌ها می‌توانند مشخصات پرش شامل طول پرش را بطور متوسط ۳۵ درصد و طول غلتاب را ۲۱/۶ درصد کاهش دهند و مؤثرترین شکل در کاهش طول، زبری لوزی شکل بود.

راور و همکاران، (Ravar et al., 2012) در تحقیقی به بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش و ارتفاع زبری‌های یکپارچه دوزنقه ای قائم بر مشخصات جهش هیدرولیکی پرداختند. مقایسه نتایج بدست آمده با داده های حاصل از جهش هیدرولیکی بر روی بستر صاف نشان داد که عمق پایاب و طول جهش هیدرولیکی در بستر زبر نسبت به بستر صاف بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد. گوهری و فرهودی (Gohari & Farhoudi, 2009)، خصوصیات جهش هیدرولیکی را بر روی بسترهایی با زبری‌های نواری مستطیلی در محدوده اعداد فرود ۳ تا ۱۰ مورد مطالعه قرار دادند و

راجاراتنام (Rajaratnam, 1968) اولین کسی بود که مطالعات سیستماتیک خود را در زمینه پرش هیدرولیکی روی بسترهای زبر انجام داد. وی پارامتر $K (K=K_e/y_1)$ را به عنوان عامل زبری معرفی نمود که y_1 عمق جریان ورودی قبل از پرش به بستر زبر و K_e ارتفاع معادل زبری می باشد. او همچنین بیان نمود که طول پرش L_z و طول غلطاب L_r روی بسترهای زبر در مقایسه بسترهای صاف بطور قابل ملاحظه ای کاهش می‌یابد.

عباسپور و همکاران (Abbaspour et al., 2009) به بررسی تجربی پرش هیدرولیکی بر روی ۶ نوع بستر موج دار با شیب موج مختلف پرداختند. شیب موج در محدوده ۰/۲۸۶ تا ۰/۶۲۵ و عدد فرود در محدوده ۳/۸ تا ۸/۶ قرار داشت نتایج ایشان نشان داد که عمق ثانویه و طول پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای موج-دار نسبت به بستر صاف در شرایط هیدرولیکی یکسان کوچکتر است. همچنین بسترهای موجدار برای استهلاک انرژی پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش با کارایی بهتر قابل استفاده هستند.

توکایای (Tokuyay, 2005) اثرات بستر موجدار را بر روی پرش هیدرولیکی به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داد. در آزمایش‌های وی شیب موج s برابر ۰/۱، ۰/۲، و ۰/۲۶ بوده و مطالعات در بازه عدد فرود ۱۲-۵ صورت گرفته که نتایج وی نشان می دهد که طول پرش حدود ۳۵ درصد و نسبت عمق ثانویه به اولیه در حدود ۲۰ درصد کمتر از شرایط مشابه در پرش نوع کلاسیک است.

موریس (Morris, 1995) مفهوم زبری را مورد بررسی قرار داد. وی فرض کرد افت هد در جریان متلاطم روی بستر زبر، بیشتر ناشی از جریان‌های گردابی می‌باشد. همچنین وی بیان نمود فاصله بین اجزاء زبری می‌تواند بر تشکیل حرکت‌های گرداب‌ها تأثیرگذار باشد. چنانچه فاصله بین اجزاء

لوله‌ای تقسیم بندی میشود که برای هر سلول مقادیر کمیت‌های وابسته وجود دارد. یعنی همه متغیرها در مرکز سلول محاسبه می‌شوند بجز سرعت که در مرکز وجوه سلول حساب می‌شود (Maroosi et al., 2011).

برای مدل سازی فلوم آزمایشگاهی مورد نظر، همزمان از نرم افزار Flow-3D و نرم افزار Autocad استفاده شد. آزمایشات مورد نظر در کانالی با طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۱۲، ۰/۳ و ۰/۴ متر انجام گرفت. برجستگی های سینوسی دارای ارتفاع های ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلیمتر هستند و طول موج ۴۰ میلیمتر است. محدوده تغییرات اعداد فرود در این تحقیق بین ۴/۶ تا ۱۲/۲ است. با توجه به اینکه لبه دریچه و زبری های سینوسی از اهمیت زیادی برخوردار هستند، برای مش بندی مدل از تعداد سلول های مش زیادی استفاده شد و از آنجایی که افزایش تعداد سلول مش، اثر مستقیم بر افزایش زمان هر اجرای نرم افزار دارد، سعی شد تا به یک حد مشخص از اندازه و تعداد سلول مش دست یابیم تا هم دقت و هم زمان مد نظر قرار بگیرند. لازم به ذکر است که این تقسیمات مش هیچ تاثیری در خطوط جریان ندارند و صرفا جهت مش بندی به کار می‌روند (شکل ۱).

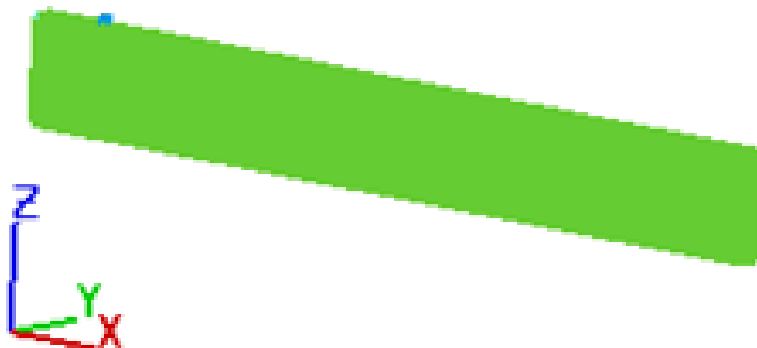
مشاهده کردند که عمق ثانویه جهش بر روی سطوح زیر در مقایسه با سطوح صاف کاهش قابل ملاحظه ای دارد و این کاهش با افزایش فاصله بین زبری ها، شدت می یابد.

علیرغم مطالعات بسیار در این خصوص، مدل های پیشرفته دینامیک سیالات محاسباتی کمتر بکار گرفته شده است لذا در تحقیق حاضر به بررسی عددی تاثیر سه ارتفاع متفاوت زبری های یکپارچه سینوسی بر مشخصات جهش هیدرولیکی و با اعمال دبی های مختلف عبوری، با استفاده از نرم افزار Flow-3D پرداخته شده است.

روش انجام شبیه سازی ها

نرم افزار Flow-3D نرم افزاری چند جانبه و سازگار با شرایط پیچیده جریان در مدل سازی به صورت دو بعدی یا سه بعدی است. این نرم افزار مختص دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است و توسط شرکت Flow Science ارائه شده است. روش حل معادلات در این نرم افزار بر اساس روش حجم محدود است.

نرم افزار Flow-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریبات احجام محدود حل می‌کند. محیط جریان به شبکه‌هایی با سلول های



شکل ۱- مدل مش بندی شده در Flow-3D

بررسی اثر تغییر شرایط هیدرولیکی بر طول ناحیه غلطاب در حوضچه آرامش با بلوک‌های یکپارچه

سینوسی

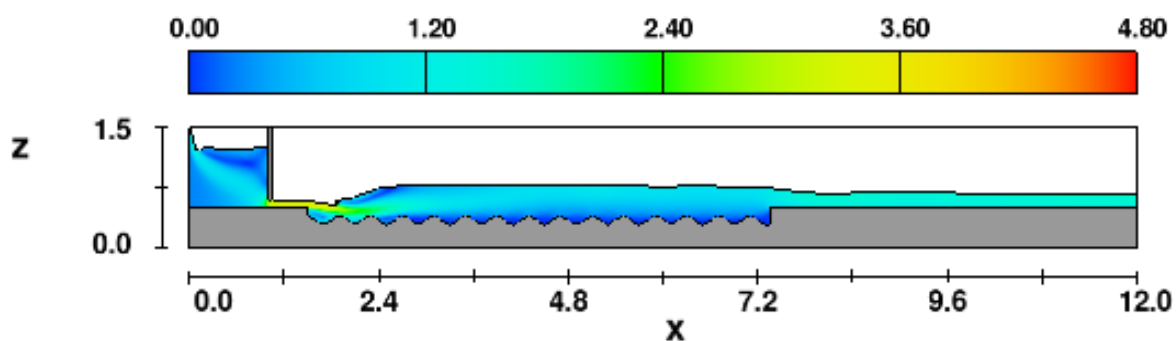
مطابق شکل‌های ۲، ۳ و ۴، که به ترتیب نشان دهنده اثر اعداد فرود اولیه $4/2$ ، $7/6$ و ۱۱ هستند و همچنین شکل‌های ۵ و ۶ نمودارهای، تغییر توزیع سرعت جریان و عمق آب درون حوضچه و خصوصیات پرش هیدرولیکی در شرایط اعمال ارتفاع بلوک‌های ثابت و اعداد فرود مختلف عبوری نشان داده شده است تا بتوان شاهد اثر تغییر شرایط هیدرولیکی بر مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌هایی با بلوک‌های سینوسی بود.

این نتایج نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود جریان از $4/2$ تا ۱۱، طول ناحیه غلطاب و پرش هیدرولیکی افزایش می‌یابد و در شرایط اعمال بیشترین عدد فرود، شاهد بیشترین طول پرش و غلطاب هستیم و در واقع پرش هیدرولیکی و استهلاك انرژی جریان در طول بیشتری نسبت به شرایطی که اعداد فرود کمتری اعمال شده است، اتفاق می‌افتد و در شرایط اعمال کمترین عدد فرود این آزمایش‌ها، کمترین طول ناحیه غلطاب و آشفستگی را شاهد هستیم.

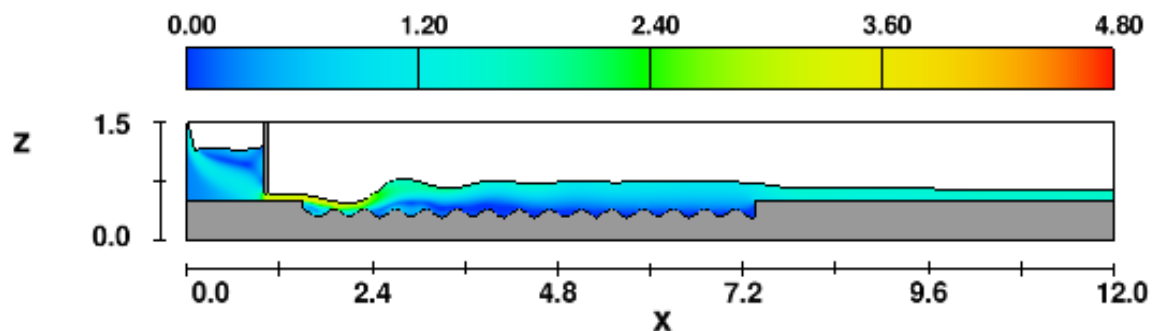
بدین ترتیب در شرایط اعمال اعداد فرود و دبی‌ها بالای جریان، باید ابعاد و ارتفاع بلوک‌ها را به منظور استهلاك بیشتر انرژی جریان، تغییر داد و یا در طراحی‌ها، طول حوضچه آرامش را افزایش داد و در نهایت به یک طرح اقتصادی و مناسب دست یافت.

طول نسبی منطقه غلطاب با افزایش عدد فرود جریان و با مقایسه عدد فرود $4/2$ و عدد فرود ۱۱ که به ترتیب کمترین و بیشترین اعداد فرود اولیه شبیه سازی‌های این مقاله هستند، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد و در شرایط اعمال عدد فرود ۱۱، موج تشکیل شده از پرش هیدرولیکی تا انتهای حوضچه ادامه می‌یابد و جت آب خروجی از زیر دریچه، تا طول حدود ۲ متری کشیده می‌شود و چهار تا پنج بلوک ابتدایی تاثیر چندانی بر استهلاك جریان خروجی ندارند.

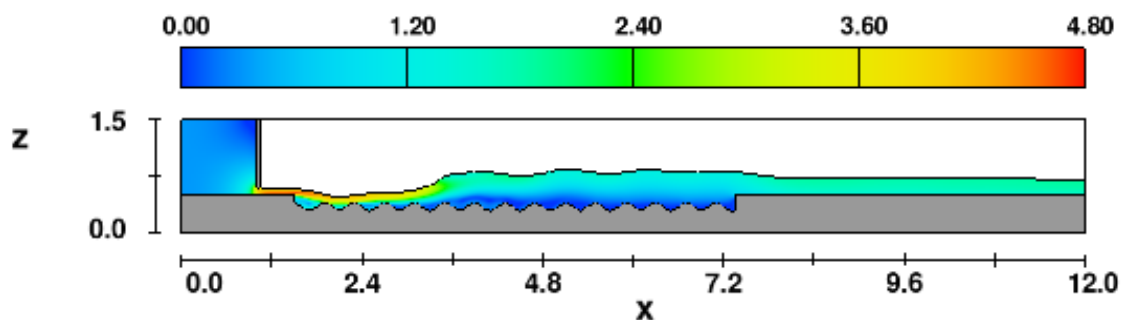
از این تصاویر خروجی و نتایج شبیه‌سازی‌ها می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش عدد فرود جریان، طول ناحیه غلطاب و پرش هیدرولیکی افزایش می‌یابد و به عبارتی استهلاك انرژی کامل در طول بیشتری اتفاق می‌افتد.



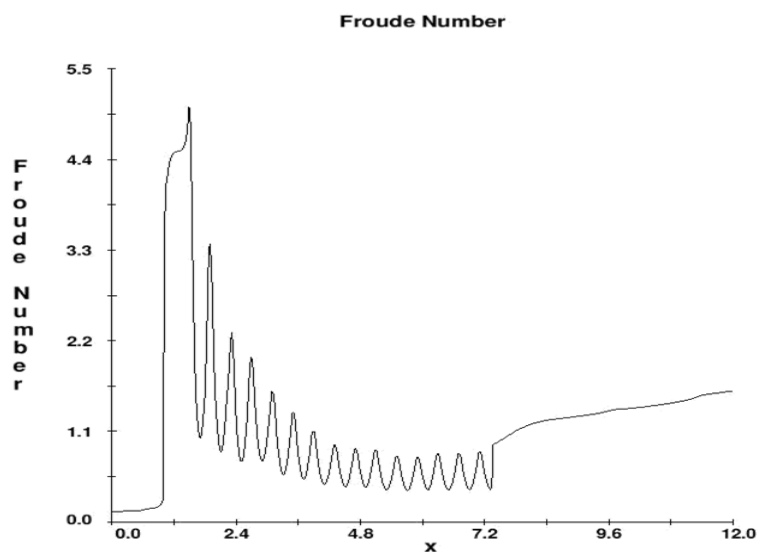
شکل ۲- نمایش توزیع سرعت پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک‌های سینوسی و عدد فرود $4/2$



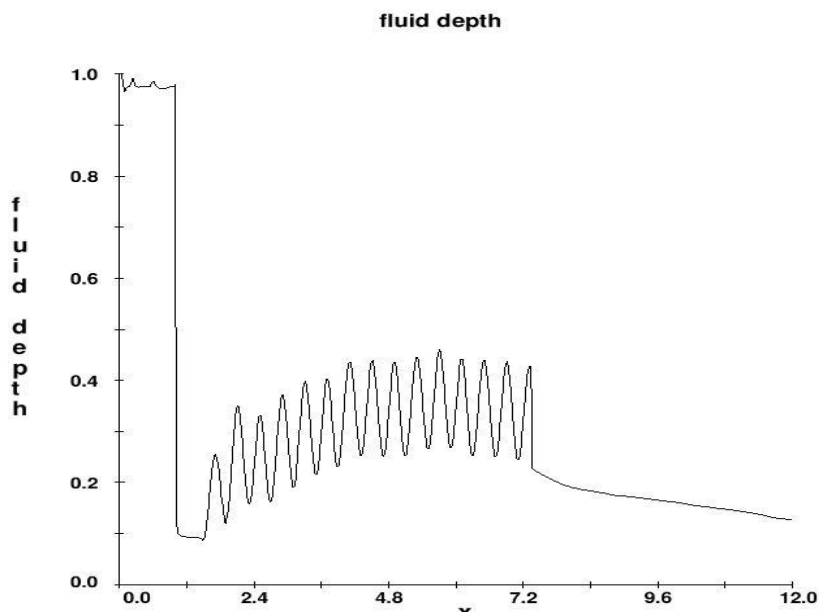
شکل ۳- نمایش توزیع سرعت پخش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی و عدد فرود ۷/۶



شکل ۴- نمایش توزیع سرعت پخش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی و عدد فرود ۱۱



شکل ۵- نمایش تغییرات سرعت پخش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی و عدد فرود



شکل ۶- نمایش تغییرات عمق آب در پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی

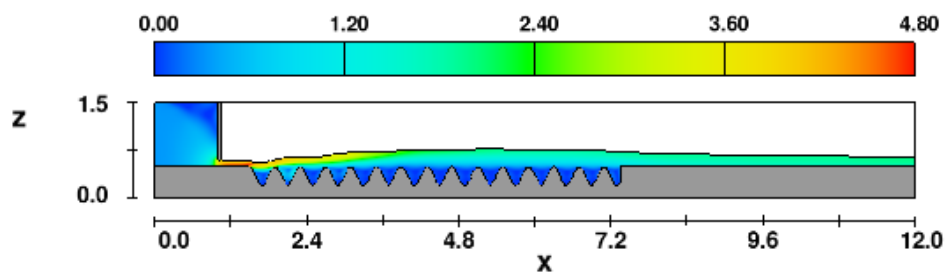
بررسی اثر تغییر ارتفاع بلوک های سینوسی حوضچه آرامش بر طول ناحیه غلطاب

مطابق شکل های ۷، ۸ و ۹ که نشان دهنده اثر اعمال ارتفاع های متفاوت بلوک سینوسی و یا نسبت های مختلف ارتفاع به فاصله بلوک های سینوسی بر توزیع سرعت و مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش و همچنین نمودار شکل ۱۰ که نشان دهنده اغتشاش انرژی در حوضچه آرامش می باشد، تغییر خصوصیات پرش هیدرولیکی در شرایط اعمال عدد فرود جریان ثابت و ارتفاع های مختلف بلوک ۱۰، ۲۰ و ۳۰ میلی متر نشان داده شده است تا بتوان شاهد اثر تغییر ارتفاع بلوک بر مشخصات پرش در حوضچه های با بلوک های سینوسی بود.

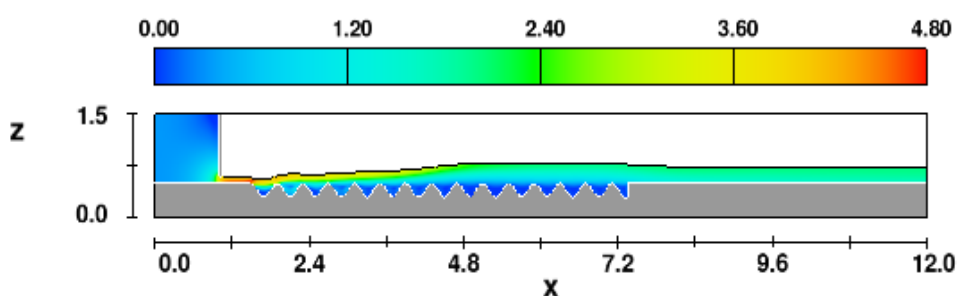
با مقایسه تصاویر دوبعدی و رنگی توزیع سرعت پروفیل طولی خروجی نرم افزار، این نتایج نشان می دهد که با افزایش ارتفاع بلوک ها و یا کاهش نسبت فاصله بلوک ها به ارتفاع آنها طول ناحیه غلطاب و پرش هیدرولیکی کاهش می یابد و در شرایط اعمال

بیشترین ارتفاع بلوک در نظر گرفته شده برای این تحقیق شاهد مستغرق شدن پرش در همان ابتدای خروج جریان از زیر دریچه هستیم و جریان خروجی به سرعت مستهلک می شود و طول پرش با افزایش ارتفاع بلوک ها کاهش می یابد و در مقایسه جریان خروجی از زیر دریچه برای دو $t/s = 0.25$ و $t/s = 0.75$ ، طول ناحیه غلطاب ۴۰ تا ۵۰ سانتی متر کمتر می شود. بر اساس خروجی های تصویری بدست آمده از شبیه سازی عددی، طول نسبی منطقه غلطاب با افزایش ارتفاع بلوک و یا کاهش نسبت ارتفاع بلوک ها به فاصله آنها و در مقایسه $t/s = 0.25$ و $t/s = 0.75$ ، حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد کاهش می یابد.

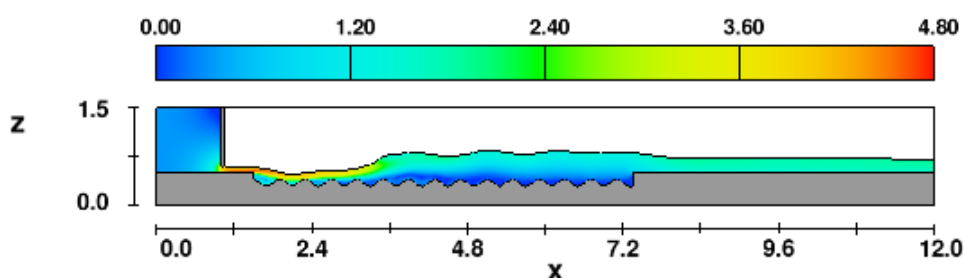
از این تصاویر خروجی و نتایج شبیه سازی ها می توان نتیجه گرفت که با افزایش ارتفاع بلوک ها و یا افزایش نسبت ارتفاع به فاصله بلوک های سینوسی، پرش هیدرولیکی و استهلاك انرژی کامل جت جریان خروجی از زیر دریچه در طول کمتری نسبت به شرایطی که ارتفاع بلوک ها کم باشد، اتفاق می افتد.



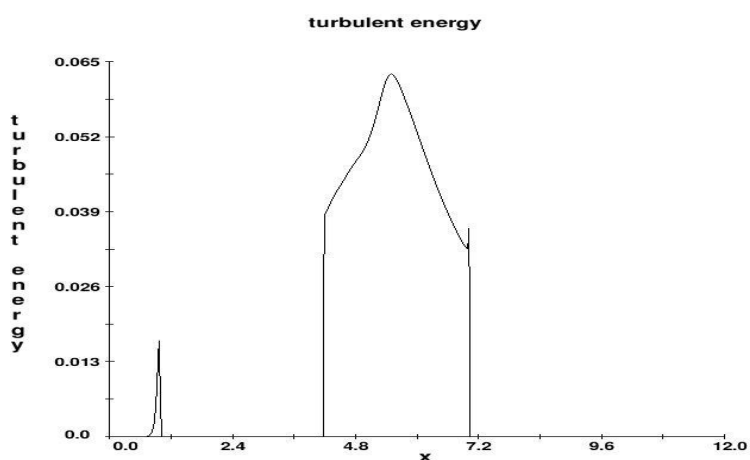
شکل ۷- توزیع سرعت پخش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی با نسبت $t/s=0,75$



شکل ۸- توزیع سرعت پخش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی با نسبت $t/s=0,5$



شکل ۹- توزیع سرعت پخش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی با نسبت $t/s=0,25$



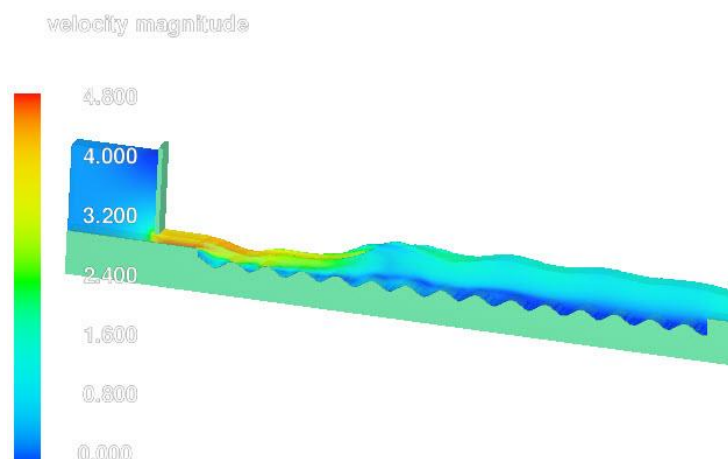
شکل ۱۰- نمایش اغتشاش انرژی آب در پخش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با بلوک های سینوسی

نمایش سه بعدی توزیع سرعت و الگوی جریان در حوضچه آرامش با بلوک سینوسی

در تحقیقات آزمایشگاهی با عکسبرداری بصورت مستقیم از نیمرخ طولی پرش آبی و رقومی کردن عکس ها با استفاده از نرم افزار گرافر، اطلاعات مربوط به پروفیل سطح آب در پرش ثبت می شود و این در حالی است که خروجی های نرم افزار Flow-3D بسیاری از پارامترها و خصوصیات پرش هیدرولیکی را به صورت تصاویر رنگی و به خوبی و با دقت بالا نمایش می دهند. در شکل ۱۱، تصویر سه بعدی توزیع سرعت و الگوی جریان خروجی نرم افزار نمایش داده شده است که در این تصویر اثر بلوک های سینوسی بر

پرش هیدرولیکی تشکیل شده و استهلاک انرژی نمایان است. پروفیل سطح آب تشکیل شده نیز در شکل ۱۱ بخوبی نمایش داده شده است.

در این تحقیق بمنظور شبیه سازی آشفتگی جریان و پرش هیدرولیکی تشکیل شده در حوضچه های با بلوک های سینوسی، از مدل آشفتگی Two-equation (k-e) استفاده شد که با توجه به نتایج بدست آمده از دقت خوبی در شبیه سازی آشفتگی جریان خروجی از زیر دریاچه و پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش با بلوک های سینوسی برخوردار است.



شکل ۱۱- تصویر سه بعدی عبور جریان از زیر دریاچه و تشکیل پرش هیدرولیکی

نتیجه گیری

با افزایش عدد فرود جریان، طول ناحیه غلطاب و پرش هیدرولیکی افزایش می یابد و به عبارتی استهلاک انرژی کامل در طول بیشتری اتفاق می افتد و طول نسبی منطقه غلطاب با افزایش عدد فرود جریان و با مقایسه عدد فرود ۴/۲ و عدد فرود ۱۱ که به ترتیب کمترین و بیشترین اعداد فرود اولیه شبیه سازی های این تحقیق هستند، حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد افزایش می یابد. در شرایط اعمال عدد فرود ۱۱، موج تشکیل شده از پرش هیدرولیکی تا انتهای حوضچه

ادامه می یابد و جت آب خروجی از زیر دریاچه، تا طول حدود ۲ متری کشیده می شود و چهار تا پنج بلوک ابتدایی تاثیر چندانی بر استهلاک جریان خروجی ندارند. طول پرش با افزایش ارتفاع بلوک ها کاهش می یابد و در مقایسه جریان خروجی از زیر دریاچه برای دو ۰/۲۵ و ۰/۷۵، طول ناحیه غلطاب ۴۰ تا ۵۰ سانتی متر کمتر می شود، طول نسبی منطقه غلطاب با افزایش ارتفاع بلوک و یا کاهش نسبت ارتفاع بلوک ها به فاصله آنها و در مقایسه ۰/۲۵ و ۰/۷۵، حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد کاهش می یابد. با افزایش ارتفاع

equation(k-e) از دقت خوبی در شبیه سازی آشفستگی جریان خروجی از زیر دریچه و پرفش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش با بلوک های سینوسی برخوردار است.

بلوک ها و یا افزایش نسبت ارتفاع به فاصله بلوک های سینوسی، پرفش هیدرولیکی و استهلاک انرژی کامل جت جریان خروجی از زیر دریچه در طول کمتری نسبت به شرایطی که ارتفاع بلوک ها کم باشد، اتفاق می افتد. در تحقیقات انجام شده مدل آشفستگی -Two

منابع

- 1- Abbaspour, A., Hosseinzadeh Dalir A., Farsadizadeh, D. and Sadraddini, AA. 2009. Effect of Sinusoidal Corrugated Bed on Hydraulic Jump Characteristics. Water & Soil Sci. J. Tabriz University. 19(1): 13-26. (In Persian)
- 2- Chanson, H. 2015. Energy Dissipation in Hydraulic Structures. CRC Press. T & F.178.
- 3- Gohari, A. and Farhoudi, J. 2009. The characteristics of hydraulic jump on rough bed stilling basins. Proceedings of the 33rd IAHR Congress, Water Engineering for a Sustainable Environment, Vancouver, British Columbia, August: 9-14.
- 4- Izadjoo, F. and Shafai Bejestan, M. 2007. Corrugated bed hydraulic jump stilling basin. App. Sci. 7(8): 1164-11610. (In Persian)
- 5- Maroosi, M., Roshan, R. and Sarkardeh, H. 2014. Analysis and Design with FLOW-3D Software. Fadak- Isatis publication. 345 p. (In Persian)
- 6- Morris, H.M. 1995. A new concept of flow in rough conduits Transaction. ASCE, 120: 373-398.
- 7- 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. (In Persian)
- 8- Rajaratnam N.1968. Hydraulic jump on rough bed. Transaction of the Engineering Institute of Canada, 11(2):1-8.
- 9- Ravar, Z., Farhoudi, J. and Najandali, A. 2012. Effect of Vertical Trapezoidal Rough Bed on Hydraulic Jump Characteristics and Energy Loss. J. Water & Soil. Vol. 26, No. 1, Mar-Apr 2012, p. 85-94. (In Persian).
- 10-Tokyay, N.D. 2005. Effect of channel bed corrugations on hydraulic jumps. In: Impacts of Global Climate Change Conference, EWRI, May, Anchorage, Alaska, USA: 408-416.