Archive of SID

سومین کنفرانس سالانه پژوهش های معماری، شهرسازی و مدیریت شهری
The third annual conference for research in architecture,urban planning and urban management

بررسی عددی اثرات واگرایی دیواره های حوضچه های آرامش بر خصوصیات جهش هیدرولیکی

امید رضایی نظرزاده[1]*، علی محمد آخوندعلی[2]،

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، omid_rezaei2006@yahoo.com
2- دکترای آب (مهندسی رودخانه) هیئت علمی دانشگاه شهید چمران اهواز، aliakh@scu.ac.ir

چکیده

سازه‌های هیدرولیکی نظیر سرریزها نیازمند به طراحی سازه‌ای چون حوضچه آرامش دارند تا انرژی جریان را مستهلک کنند. روند کار به گونه‌ای است که جریان فوق بحرانی ورودی به حوضچه به وسیله پرش هیدرولیکی که منجر به استهلاک انرژی زیاد می‌شود، به جریان زیر بحرانی تبدیل می‌گردد. در این بین حوضچه‌های آرامش واگرا با مقطع مستطیلی به دلیل عدم نیاز به سازه تبدیل در ابتدا و انتها می‌توانند جایگزین مناسبی برای حوضچه‌های کلاسیک باشند. واگرایی می‌تواند تغییراتی در خصوصیات پرش هیدرولیکی و کاهش طول و عمق پایاب در پرش هیدرولیکی ایجاد نماید که شرایط را برای اقتصادی‌تر نمودن سازه‌های مستهلک کننده انرژی فراهم نماید. یکی از مدلهای ریاضی جهت حل مسائل پیچیده جریان در سازه‌های هیدرولیکی، نرم‌افزار جریان سه بعدی FLOW-3D می‌باشد که از روش حجم محدود برای حل مسائل استفاده می‌کند و در این تحقیق از این نرم افزار استفاده شده است و به بررسی انواع زاویه واگرایی با دبی های مختلف پرداخته شده است. بررسی داده‌های عددی در مقاطع مستطیلی با واگرایی صفر، 5، 10، 15 و 25 درجه نشان می‌دهد که در تمامی آزمایش‌ها نسبت عمق ثانویه به اولیه با افزایش عدد فرود به صورت خطی افزایش می‌یابد. در تمامی حالتها با افزایش طول جهش، عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه افزایش می‌یابد. در زاویه واگرایی 25 درجه طول جهش به طور چشمگیری نسبت به بقیه حالتها کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: واگرایی حوضچه آرامش، پرش هیدرولیکی، جریان فوق بحرانی، نرم افزار FLOW-3D

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سرعت زیاد جریان در مسیر رودخانه‌ها و کانال‌ها باعث تخریب بستر و سوراخ شدن پی می‌گردد. از این جهت سازه‌های هیدرولیکی نظیر سرریزها و شوت‌ها، معمولاً نیازمند به طراحی سازه‌ای چون حوضچه آرامش داشته تا از این طریق انرژی جریان مستهلک گردد. روند کار به گونه‌ای است که جریان فوق بحرانی ورودی به حوضچه به وسیله پرش هیدرولیکی که منجر به استهلاک انرژی زیاد می‌شود، به جریان زیر بحرانی تبدیل می‌گردد. برای اطمینان از عملکرد مناسب حوضچه آرامش، طراحی آن باید به گونه‌ای باشد که تراز عمق پایاب در پایین‌دست کانال خیلی کمتر از تراز عمق مزدوج پرش هیدرولیکی نباشد. در غیر این صورت پرش طولانی‌تر شده و در نتیجه منجر به تخریب کف بستر رودخانه خواهد شد. طول پرش هیدرولیکی اغلب به عنوان یکی از مهمترین پارامتر طراحی حوضچه آرامش در نظر گرفته می‌شود. حوضچه‌های آرامش واگرا با مقطع مستطیلی یک نوع از سازه‌های آرامش بوده که به دلیل عدم نیاز به سازه تبدیل در ابتدا و انتهای آنها می‌توانند جایگزینی مناسب برای حوضچه‌های کلاسیک باشند. واگرایی می‌تواند تغییراتی در خصوصیات پرش هیدرولیکی و کاهش طول و عمق پایاب در پرش هیدرولیکی ایجاد نماید که شرایط را برای اقتصادی‌تر نمودن سازه‌های مستهلک کننده انرژی فراهم نماید [1 و 2].

مروری بر تحقیقات

از میان انواع سازه‌های مستهلک کننده انرژی، حوضچه‌های آرامش با مقاطع مستطیلی دارای بیشترین کاربرد می‌باشند. از این رو تاکنون تحقیقات زیادی در رابطه با خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش انجام شده و معیارهای لازم جهت طراحی این نوع از سازه‌های هیدرولیکی ارائه شده است. مطالعات انجام شده نشان داده است که با تغییر هندسه پلان حوضچه‌های آرامش و واگرایی دیواره‌ها، نسبت عمق ثانویه و طول نسبی پرش کاهش یافته و افت نسبی انرژی افزایش می‌یابد [2، 3، 4، 5، 6 و 7].

صاحبی و همکاران (1391) تاثیر واگرایی دیواره‌های حوضچه آرامش بر هزینه‌های ساخت را مطالعه و نشان دادند که افزایش واگرایی دیواره‌ها از 4 تا 9 درجه در محدوده اعداد فرود 4/5 تا 9 باعث افزایش راندمان پرش به میزان 10 تا 29 درصد و کاهش هزینه‌های ساخت حوضچه به میزان 4 تا 20 درصد نسبت به حوضچه کلاسیک می‌شود. بنابراین هزینه‌های احداث حوضچه‌های آرامش با مقاطع واگرا نسبت به حوضچه‌های مستقیم کمتر خواهد بود و با انجام مطالعات بیشتر این نوع از حوضچه‌ها می‌توانند جایگزین خوبی برای حوضچه‌های استاندارد باشند [8].

سارکر و رودز [1] (2002) پرش هیدرولیکی بر روی بسترهای صاف را به صورت تجربی بررسی نموده، آنها سپس با استفاده از مدلهای آشفتگی k-ε و RNG و روش حجم سیال این پدیده را مطالعه نمودند. نتایج عددی و آزمایشگاهی تطابق خوبی در حالت دو بعدی نشان داد اما محاسبات در راستای سه بعدی از دقت لازم برخوردار نبود. زائو و میسرا [2] (2004) با استفاده از معادلات پیوستگی و مومنتوم و با مدل آشفتگی k-ε به صورت دو بعدی پرش هیدرولیکی را شبیه‌سازی نموده و نتایج تحقیق خود را به صورت پروفیل‌های سرعت و سطح آب ارائه نمودند و نشان دادند که روش عددی از دقت خوبی برخوردار است. لیو و همکاران [3] (2004) مطالعاتی بر روی خصوصیات آشفتگی پرش هیدرولیکی انجام دادند که بر طبق نتایج به دست آمده حداکثر شدت آشفتگی و تنش‌های رینولدز با دور شدن از پنجه پرش به طور خطی کاهش پیدا می‌کند و اندازه گردابه‌های تولید شده نیز در انتهای پرش بیشتر می‌شود. گونزالز و بومباردلی [4] (2005) پرش هیدرولیکی روی بستر صاف را با استفاده از مدلهای آشفتگی εk-

[1] Sarker and rhodez
[2] Zhao and Misra
[3] Liu
[4] Gonzalez

www.SID.ir

Archive of SID

و روش شبیه‌سازی گردابهای بزرگ LES بررسی نموده آنها نتایج حاصله از پژوهش خود را با داده های آزمایشگاهی مقایسه نمودند و به همگرایی خوبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی رسیدند. رومنگنولی و همکاران پرش هیدرولیکی رخ داده پس از دریچه و همچنین جریان ریزشی آب پس از پایین افتادگی کف کانال بعد از وقوع پرش را به صورت دو بعدی شبیه سازی نمودند و از روش VOF[5] برای مدلسازی سطح آب و مدل آشفتگی εk- استفاده گردید و انطباق خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و عددی مشاهده گردید.

کاظمیان‌زاده و همکاران (1388) در یک تحقیق آزمایشگاهی تاثیر آرایش زبری‌های مکعب شکل بر میزان استهلاک انرژی پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش را مورد بررسی قرار دادند. خصوصیات هیدرولیکی پرش را در محدوده عدد فرود بین 5/03 و 12/69 در کانال مستطیلی با بستر صاف و همچنین بستر زبر مکعبی شکل با 5 تیپ آرایش زبری بررسی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که زبری‌های بستر بطور مستقیم باعث افزایش استهلاک انرژی می‌شود [9].

الزیابی و همکاران (2010) تاثیر اشکال متفاوت زبری‌های مواج بستر بر روی خصوصیات پرش هیدرولیکی را مطالعه نمودند. آزمایش های آنها در محدوده عدد فرود 3 تا 7/5 و همچنین برای 5 شکل زبری موجی (سینوسی، مثلثی، ذوزنقه ای با دو نوع شیب کناره و مستطیلی) صورت پذیرفت. نتایج آنها نشان داد که طول پرش و نسبت اعماق مزدوج در وضعیت بستر زبر عمق پایاب بسیار کمتر از حالت بستر صاف می‌باشد [10].

اید و راجا تنام (2002)، عباسپور و حسین زاده (2009)، بدیع زادگان و همکاران (1390) خصوصیات پرش هیدرولیکی بر روی بستر موج‌دار سینوسی شکل را با ارتفاع نسبی موج و اعداد فرود مختلف بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که عمق پایاب مورد نیاز برای تشکیل پرش بر روی بستر موج دار نسبت به بستر صاف کمتر می‌باشد. آنها همچنین نشان دادند که ضریب تنش برشی در پرش هیدرولیکی در بستر موج‌دار نسبت به بستر صاف افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد [11 و 12].

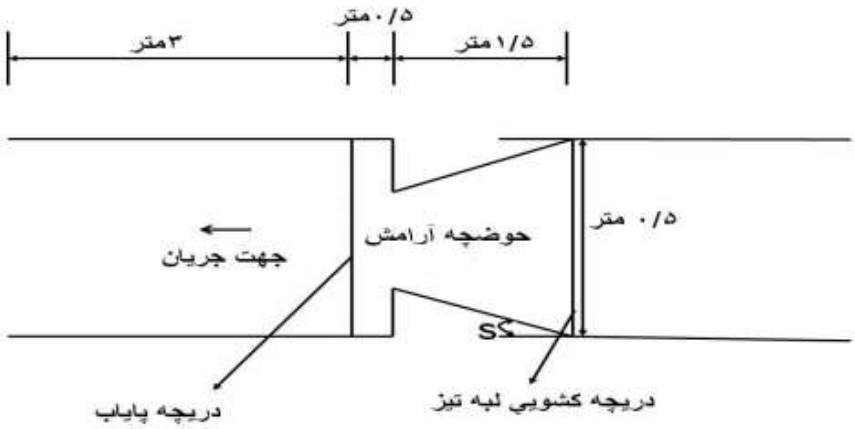
مشخصات مدل آزمایشگاهی

برای انجام این تحقیق ابتدا صحت سنجی نتایج انجام می‌شود. برای صحت سنجی از نتایج شبیه‌سازی آزمایشگاهی دانشگاه شیراز استفاده می‌شود. بنابراین به منظور بررسی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش با مقطع مستطیلی از مدل فیزیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شیراز استفاده شده است که در شکل 1 نشان داده شده است. مدل مورد استفاده شامل یک شبکه فلزی در ابتدای کانال به منظور آرام و منظم نمودن جریان، حوضچه آرامش مستطیلی از جنس شیشه به ضخامت 6 میلیمتر و به طول 1/5 متر برای ایجاد پرش پایدار استفاده شد. از دو دریچه کشویی قائم یکی واقع در ابتدای حوضچه برای ایجاد جریان فوق بحرانی و دیگری در فاصله 50 سانتیمتری انتهای حوضچه برای تثبیت جریان استفاده می‌شود. حوضچه آرامش این تحقیق به گونه‌ای ساخته شده است که بتوان زاویه واگرایی و همگرایی مختلف را ایجاد نمود. همچنین با استفاده از دریچه‌های کشویی موجود جریان‌های ورودی به حوضچه آرامش با عمق و سرعت‌های مختلف برای بدست آوردن اعداد مختلف فرود اولیه امکان پذیر می‌گردد [13].

[5] Volume of fluid

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- نمایی از ابعاد فلوم دانشگاه شیراز

یکی از پارامترهای مهم در محاسبات مربوط به پرش هیدرولیکی نسبت عمق ثانویه به اولیه پرش می‌باشد و کاهش مقدار نسبت عمق ثانویه به اولیه که نشان دهنده طول پرش می‌باشد، می‌تواند به عنوان یک اصل در طراحی حوضچه آرامش مورد استفاده قرار گیرد، که در این صورت از ارتفاع قائم آزاد حوضچه آرامش نیز تا حدودی کاسته می‌شود. در این تحقیق شیب کانال صفر می‌باشد. در ابتدا برای بررسی صحت سنجی نتایج، از حالتی که حوضچه آرامش بدون شیب است (یعنی زاویه واگرایی صفر درجه) استفاده می‌شود و بعد از صحت‌سنجی به بررسی اثرات زاویه واگرایی با مقادیر متفاوت دبی پرداخته می‌شود. برای شروع صحت سنجی ابتدا نتایج صحت سنجی با نتایج آزمایشگاهی در جدول 1 مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این جدول Y_2 عمق ثانویه پرش و Y_1 عمق اولیه پرش است و L طول جهش هیدرولیکی که برابر با فاصله افقی نقاطی که Y_2 و Y_1 برداشت می شود، است.

جدول 1- داده‌های محاسبه شده برای حوضچه آرامش با زاویه واگرایی صفر در آزمایشگاه

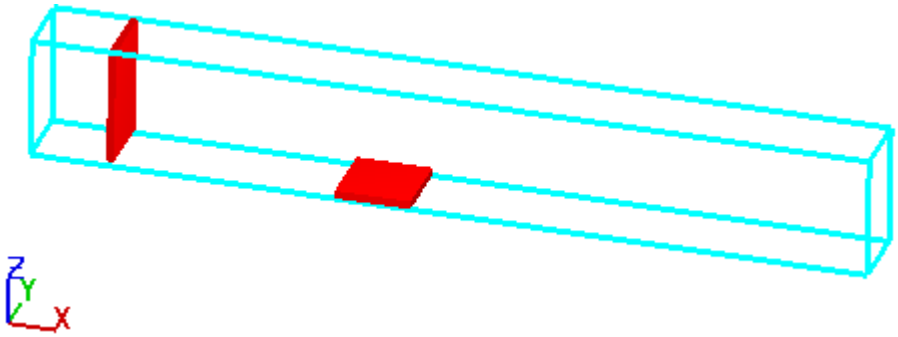
زاویه واگرایی	دبی $(Litr/s)$	$Y_1\ (cm)$	$Y_2\ (cm)$	$L\ (cm)$	FR_1	Y_2/Y_1
0	36/1	3	18/5	120	4/57	6/16

مدلسازی و صحت سنجی نتایج

برای تهیه هندسه مدل می‌توان از نرم‌افزار اتوکد و یا سالیدورک استفاده نمود و فایل مدل سه بعدی را با فرمت .*stl ذخیره نمود و سپس در نرم‌افزار فراخوانی کرد. اما در اینجا به سبب قابلیت‌های مدلسازی خود نرم‌افزار FLOW-3D برای مدلسازی از این نرم‌افزار استفاده شده است. در شکل 2 مدلی که در نرم‌افزار FLOW-3D ترسیم شده، آورده شده است. در این شکل راستای محورهای مختصاتی کاملا مشخص است. راستای طول فلوم محور X است، عرض فلوم محور Y است و ارتفاع فلوم محور Z انتخاب شده است. سیال مورد نظر آب با دمای 20 درجه سانتیگراد به صورت سیالی نیوتنی و تراکم ناپذیر در نظر گرفته شده است. آب پشت دریچه به ارتفاع 50 سانتیمتر است و ارتفاع در راستای محور Z برابر 80 سانتیمتر انتخاب شده است طوری که تحت دبی‌های مختلف این ارتفاع پر نشود. در این شکل قسمت قرمز اول مربوط به دریچه کشویی با ارتفاع باز شدگی 3 سانتی متر است و قسمت دوم پله‌ای به طول و عرض 50 سانتیمتر و ارتفاع 5/5 سانتی متر مطابق شرایط آزمایشگاهی است. در شکل 2 نمای فلوم نشان داده شده است. برای مدلسازی حوضچه آرامش با زاویه واگرایی صفر از یک بلوکه مش استفاده شده است و شبکه‌بندی مدل به صورت شبکه‌بندی مستطیلی انتخاب گردیده است.

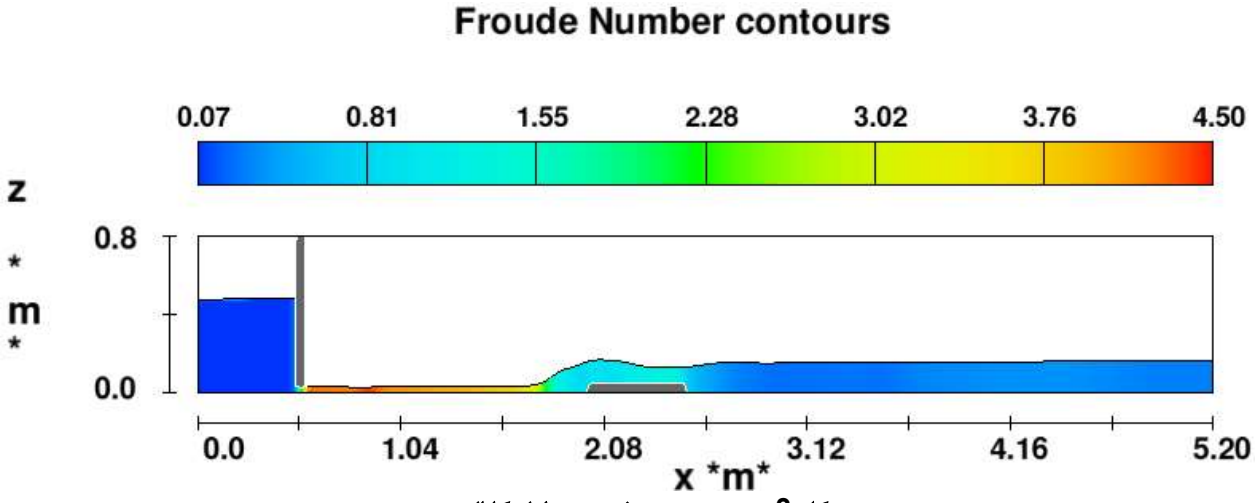
www.SID.ir

Archive of SID



شکل 2- مدل فیزیکی ترسیم شده

با توجه به مطالب گفته شده در این بخش به الگوی حل مسئله پرداخته می‌شود. نخستین گام تعیین بهترین شبکه بندی است، با شبکه بندی درشت تغییرات زیادی در جواب رخ می‌دهد و بدیهی است که به جواب صحیح منتهی نمی‌شود و نیازمند شبکه بندی ریزتری می‌باشد تا با اعمال فشرده سازی نقاط شبکه در مناطقی که متغیرهای جریان تحت گرادیان‌های شدید قرار دارند بتوان تمام تغییرات را بررسی کرد. نوع شبکه بندی برای سلولهای مش به صورت مستطیلی می‌باشد. در این تحقیق طبق فلوم آزمایشگاهی طول آن را 5/5 متر، عرض آن را 0/5 متر و ارتفاع فلوم 0/8 متر در نظر گرفته شده است. نتایج برای 30000 سلول، 40000 سلول، 60000 سلول،80000 سلول و 100000 سلول تست شده است، اما نتایج از 60000 سلول به بالا تغییری نداشته است بنابراین 60000 سلول (59760 سلول واقعی) به عنوان تعداد مش منتخب انتخاب شده است. به عبارتی هر سلول مش دارای اندازه 3/3 سانتیمتر می‌باشد. شکل 3 نشان دهنده عدد فرود می‌باشد مشاهده می‌شود که در ابتدا بعد از خروج سیال از دریچه کشویی و ورود به حوضچه آرامش مقدار عدد فرود زیاد است و در انتهای حوضچه آرامش و در حین عبور از پله مقدار عدد فرود به کمتر از یک می‌رسد که نشان دهنده یک پرش هیدرولیکی در فلوم می‌باشد. همچنین با مقایسه نتایج بین عددی (4/53) و عدد فرود آزمایشگاهی (4/77) مقدار خطای حاصله خیلی کم است و نشان دهنده صحت نتایج می‌باشد. همچنین مقدار ارتفاع سیال بعد از عبور از دریچه 2/8 سانتی متر است که با نتایج آزمایشگاهی همخوانی دارد و مقدار ارتفاع حداکثر در لحظه پرش هیدرولیکی (Y_2) برابر 18/3 سانتی متر که با مقدار 18/5 سانتیمتر آزمایشگاهی همخوانی کامل دارد. با توجه به صحت سنجی نتایج در ادامه به بحث درباره اثرات واگرایی حوضچه آرامش با دبی‌های مختلف تحت ارتفاع دریچه کشویی متفاوت پرداخته می‌شود.



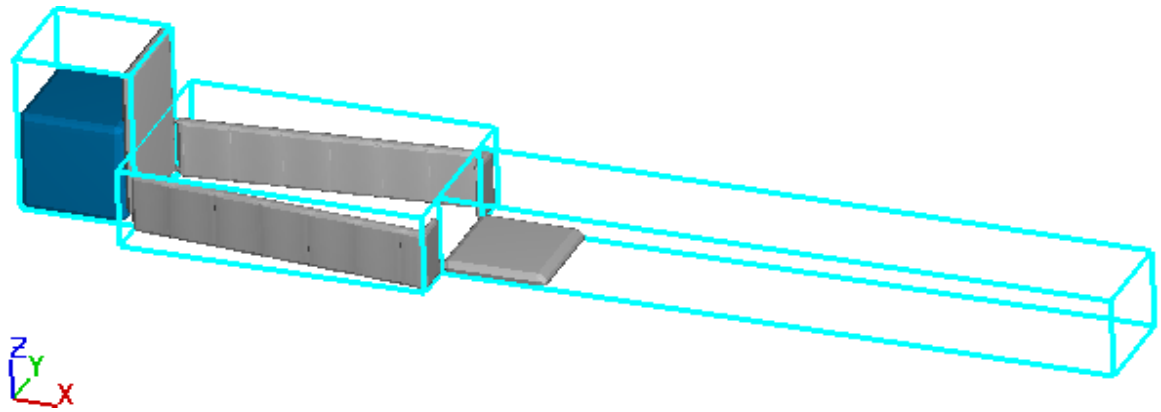
شکل 3- محدوده عدد فرود در طول کانال

www.SID.ir

Archive of SID

مدلسازی فلوم براساس زاویه واگرایی حوضچه آرامش

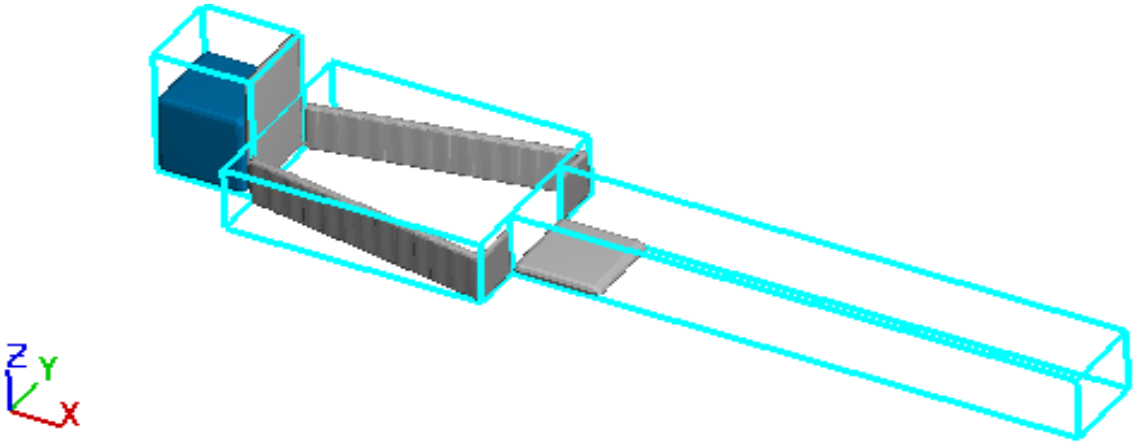
بعد از مرحله صحت سنجی نوبت به مدلسازی و تجزیه و تحلیل مدل مربوط به تحقیق حاضر می‌باشد. تحقیق حاضر بر مبنای فلوم آزمایشگاه دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شده است. در این تحقیق به بررسی انواع زوایای واگرایی 5، 10، 15 و 25 درجه پرداخته می‌شود. این آزمایشات در فلومی با طول 5/5 متر، عرض 0/5 متر و ارتفاع 0/8 متر انجام گردید. مقادیر این طول ها براساس زاویه واگرایی ممکن است تغییر کند. سعی شده است که نکات اصلی برای انجام این تحقیق بیان شود و از ذکر جزئیاتی که غیر مفید و زیاد هستند صرف‌نظر شود. شکل‌های 4، 5، 6 و 7 به ترتیب نشان دهنده فلوم تحت زوایای واگرایی 5، 10، 15 و 25 درجه هستند. هنگامی که حوضچه آرامش زاویه آن از صفر تغییر می‌کند. نیازمند تغییرات در تعداد بلوکه‌های مش است. در حالتی که حوضچه آرامش با زاویه واگرایی صفر بود از یک بلوکه مش استفاده شد، اما وقتی زاویه واگرایی حوضچه آرامش تغییر می‌کند برای نشان دادن محدوده حوضچه آرامش از تعداد سه مش بلوک استفاده شده است. یک مش بلوک تا دریچه کشویی اول، یک مش بلوک مخصوص حوضچه آرامش و یک مش بلوک برای پله تا انتهای فلوم می‌باشد. لازم به توضیح است که اندازه سلولهای مش مربوط به فلوم در سه جهت X، Y و Z در مش بلوک 1 برابر 3 سانتی متر، سایز مش بلوک 2 برابر 2 سانتی متر (به دلیل حساس بودن حوضچه آرامش که دلیل آن نیز به دلیل حساس بودن شرایط مرزی و بحث ورود سیال بوده است که در این نواحی مش ریزتر در نظر گرفته شده است) و اندازه مش بلوک 3 برابر 3 سانتیمتر در نظر گرفته شده است. همچنین مش بندی بلوک های 1، 2 و 3 تقریبا مشابه و با سایز نزدیک به هم انتخاب شده است طوری که در هنگام عبور سیال از سلولی به سلولی دیگر اختلاف زیادی بین آنها نباشد. شرایط مرزی در محلی که دو مش بلوک دارای مماس هستند یکسان در نظر گرفته شده است. در حالتی که از سه مش بلوک استفاده می‌شود تعداد سلولهای محاسباتی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد چرا که برای مش بلوک 2 و 3 دیگر نیازی به در نظر گرفتن ارتفاع 0/8 مثل مش بلوک 1 نیست و میزان ارتفاع به 0/4 متر با توجه به میزان ارتفاع سیال کاهش داده شده است. شرایط مرزی مشابه حالتی است که از یک مش بلوک استفاده شده است، اما در صفحاتی که مش بلوکها مماس هستند همیشه نوع شرط مرزی از نوع Outflow انتخاب شده است که حالت خروج جریان از یک مرز به مرز بعدی را نشان می‌دهد.



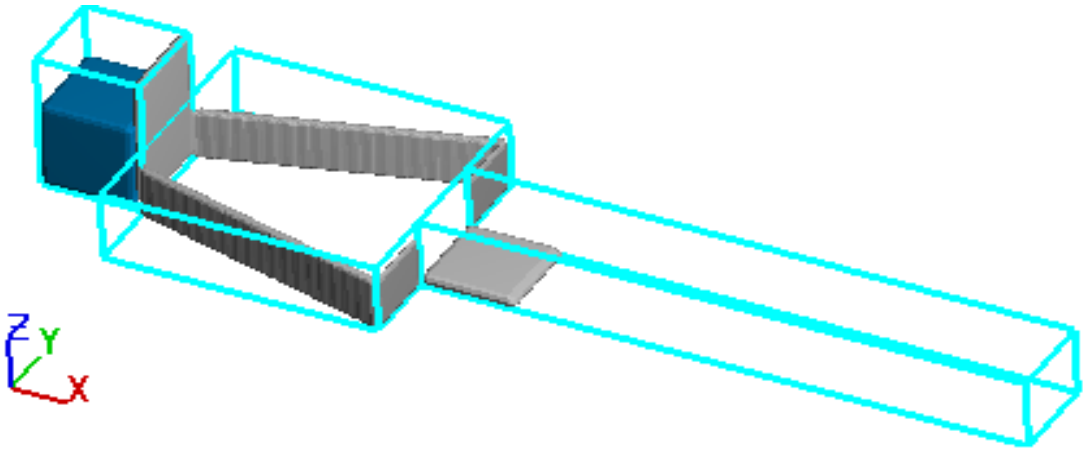
شکل 4- مدل فلوم آزمایشگاهی براساس زاویه واگرایی 5 درجه

www.SID.ir

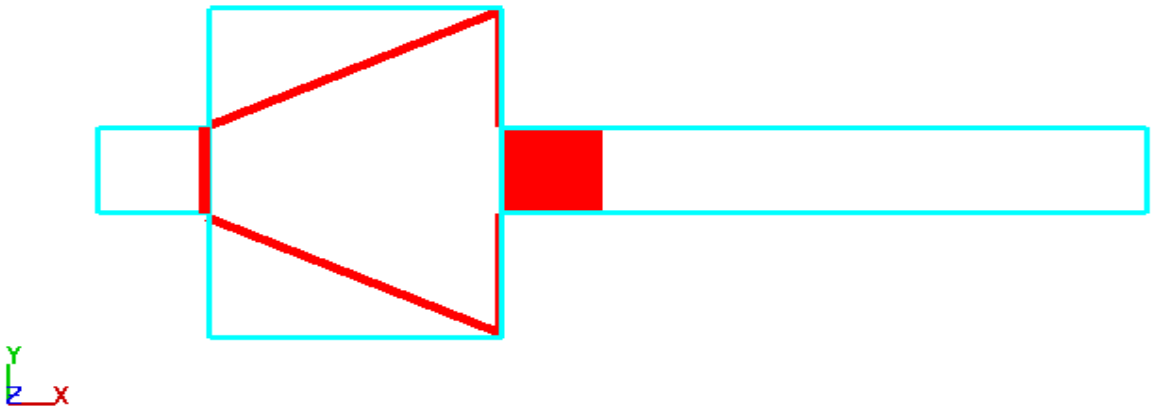
Archive of SID



شکل 5- مدل فلوم آزمایشگاهی براساس زاویه واگرایی 10 درجه



شکل 6- مدل فلوم آزمایشگاهی براساس زاویه واگرایی 15 درجه

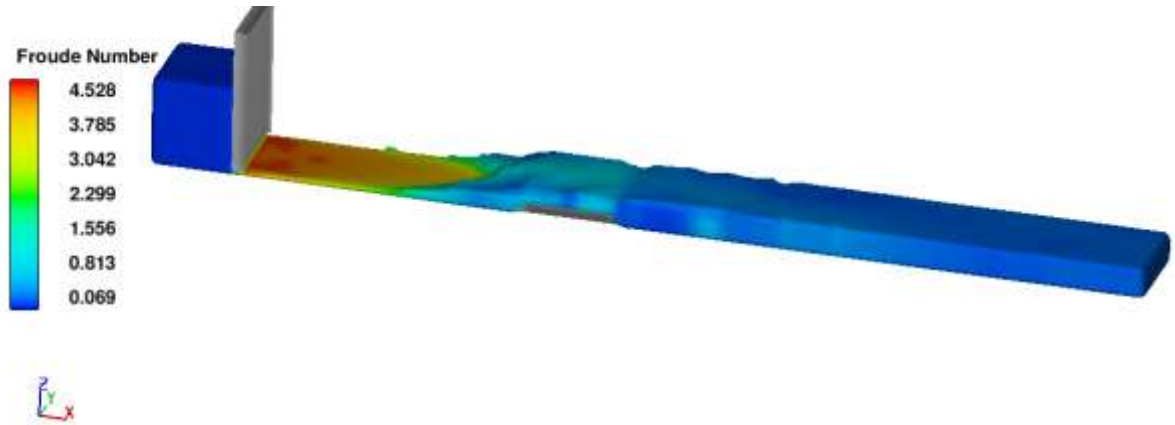


شکل 7- مدل فلوم آزمایشگاهی براساس زاویه واگرایی 25 درجه

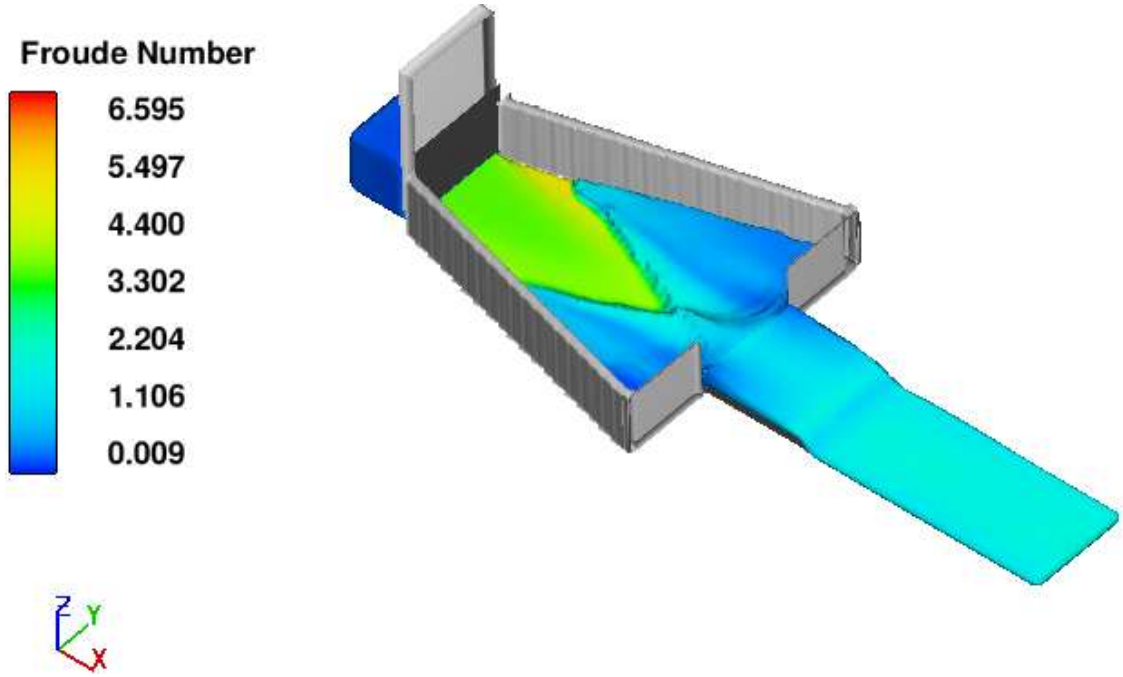
www.SID.ir

Archive of SID

در ادامه به بررسی انواع زاویه واگرایی و ارتفاع دریچه کشویی با دبی‌های مختلف پرداخته شده است. برای بررسی اثرات دبی از 4 دبی متفاوت 36/1، 39/1، 42/1 و 45/1 لیتر بر ثانیه استفاده شده است. برای بررسی اثرات زاویه واگرایی از 5 زاویه واگرایی 0، 5، 10، 15 و 25 درجه استفاده شده است که برای هر کدام از این زاویه واگرایی‌ها از 4 دبی 36/1، 39/1، 42/1 و 45/1 لیتر بر ثانیه استفاده شده است. در ادامه در دو حالت به ترتیب مطابق شکل 8 و 9 به بررسی عدد فرود در داخل حوضچه آرامش تحت دبی 36/1 لیتر بر ثانیه برای زاویه واگرایی 0 و 15 درجه نمودارها آورده شده و از آوردن نمودارهای دیگر برای حالتها مختلف زاویه واگرایی و دبی مختلف صرف نظر شده است. از شکلهای 8 و 9 می توان طول جهش هیدرولیکی را نیز براساس مرحله گذر از جریان فوق بحرانی به زیربحرانی را بدست آورد.



شکل 8- محدوده عدد فرود مربوط به دبی 36/1 لیتر بر ثانیه با زاویه واگرایی صفر

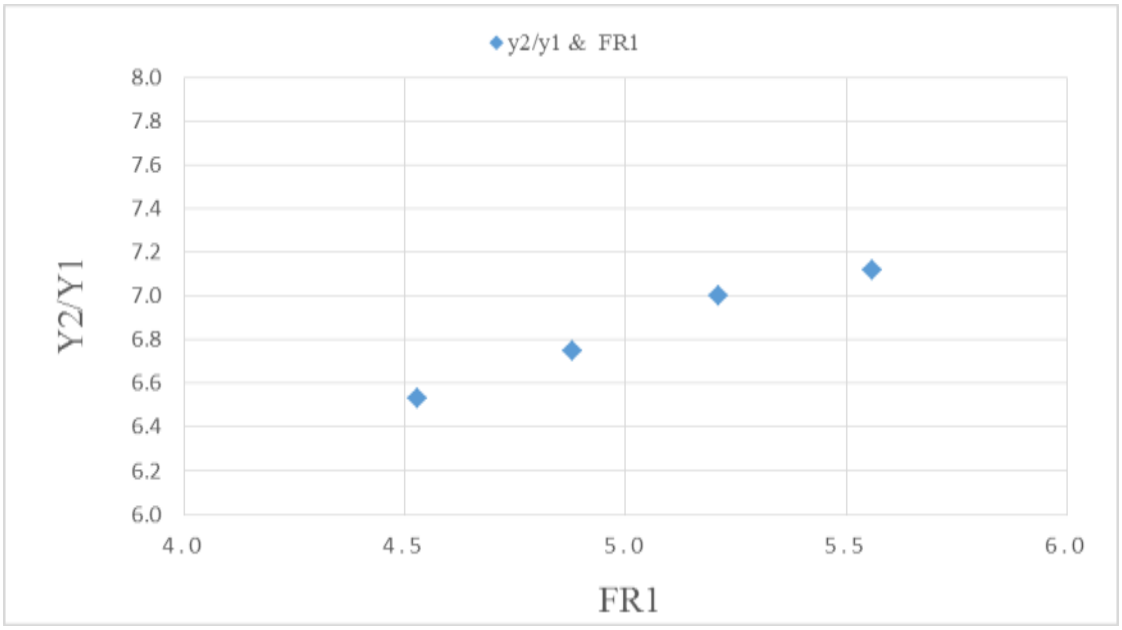


شکل 9- محدوده عدد فرود مربوط به دبی 36/1 لیتر بر ثانیه با زاویه واگرایی 15 درجه

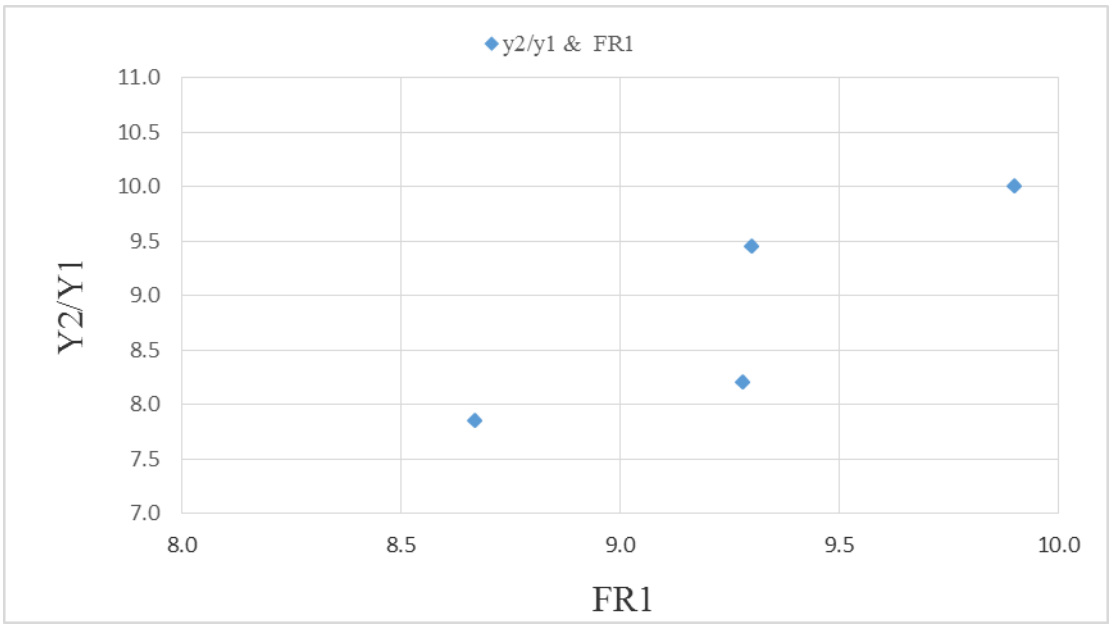
www.SID.ir

Archive of SID

شکل 10، 11، 12، 13 و 14 به ترتیب نشان دهنده عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه تحت زاویه واگرایی 0، 5، 10، 15 و 25 درجه می باشد. نتایج نشان می دهد که ارتباط بین عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه رابطه ای مستقیم است ولی این رابطه دارای شیب بندی و مقیاس بندی متفاوتی می باشد به طوری که می توان در شکل 15 بهتر به بررسی عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه پرداخت.



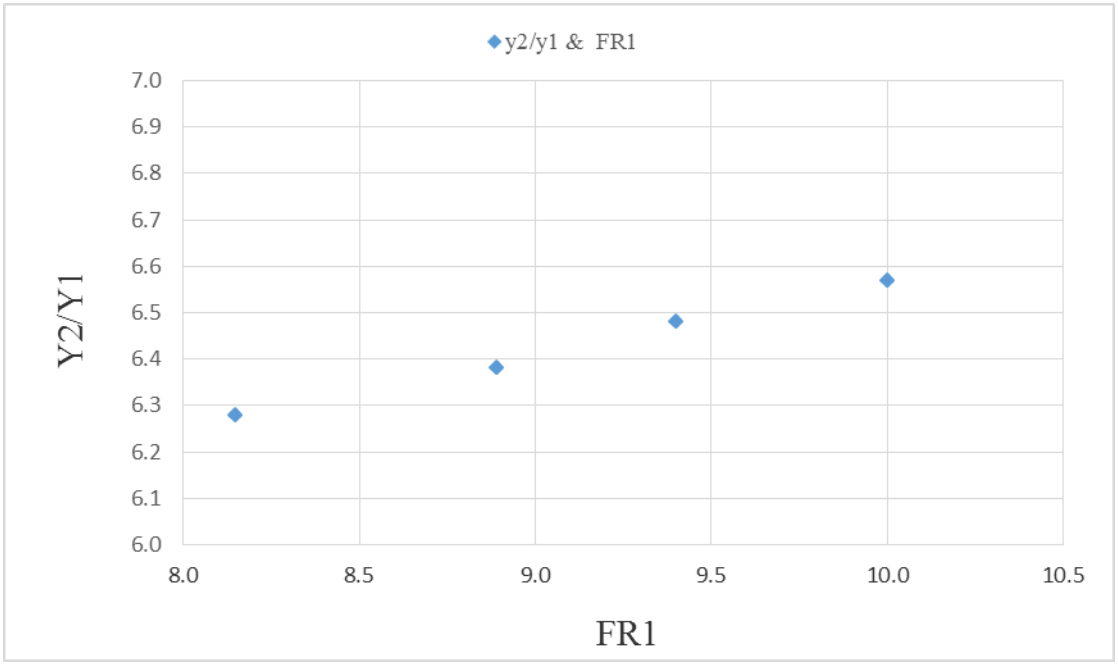
شکل 10- عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه در زاویه واگرایی صفر



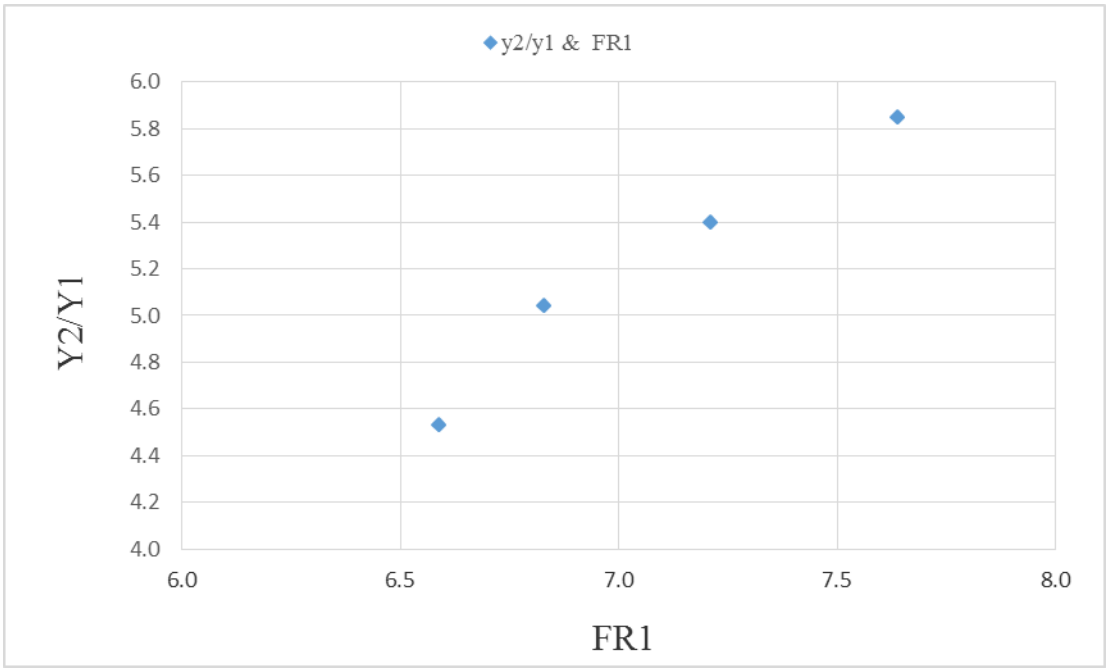
شکل 11- عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه در زاویه واگرایی 5 درجه

www.SID.ir

Archive of SID



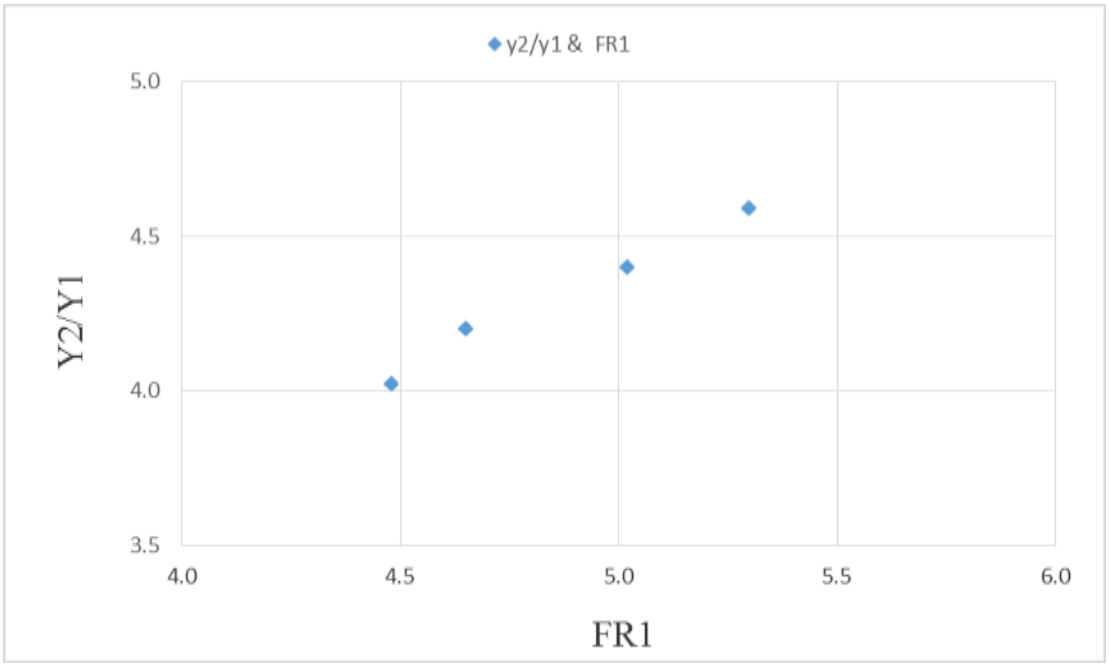
شکل 12- عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه در زاویه واگرایی 10 درجه



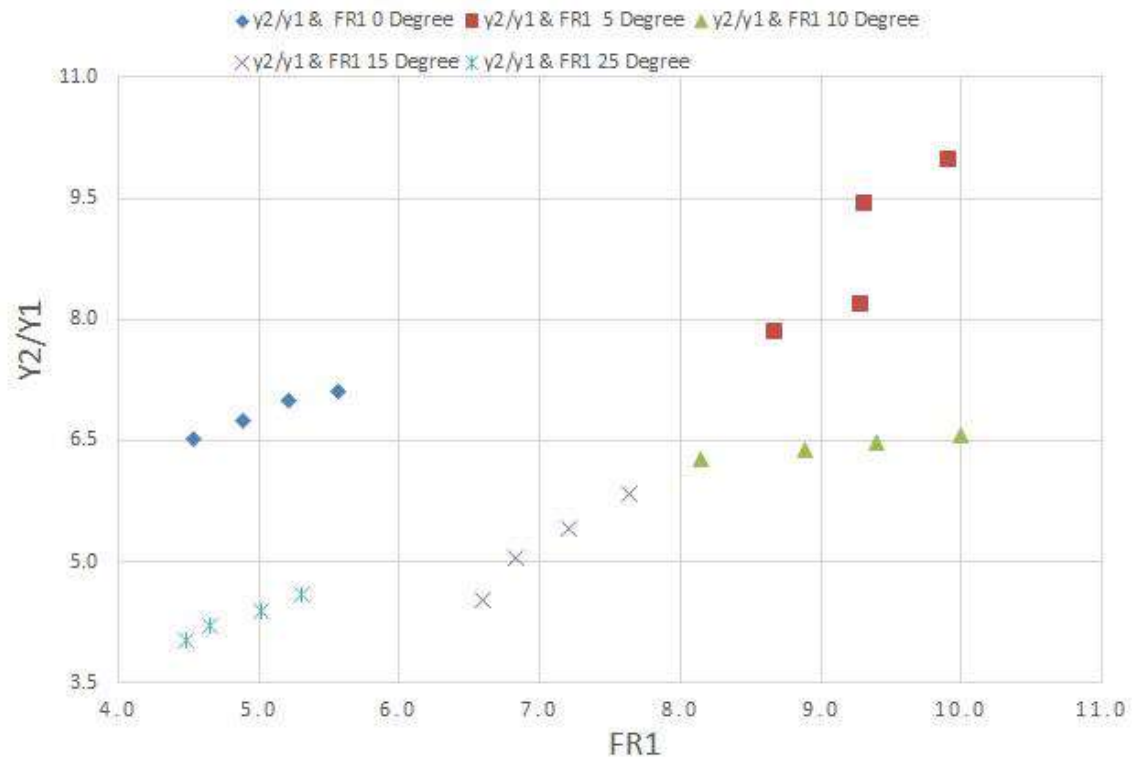
شکل 13- عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه در زاویه واگرایی 15 درجه

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 14- عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه در زاویه واگرایی 25 درجه



شکل 15- عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه در زاویه های واگرایی 0، 5، 10، 15 و 25 درجه

www.SID.ir

Archive of SID

لازم به ذکر است که در تمامی حالتها طول جهش با افزایش دبی افزایش می یابد و بر این اساس در تمامی حالتها با افزایش طول جهش، عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه افزایش می‌یابد. در زاویه واگرایی 25 درجه طول جهش به طور چشمگیری نسبت به بقیه حالتها کاهش دارد و این یکی از مزایای زاویه واگرایی می باشد که باعث کاهش طول جهش می شود. با افزایش زاویه واگرایی در دبی معین مشاهده می‌شود که عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه روندی افزایشی دارد.

نتیجه گیری

حوضچه آرامش سازه‌ای است که در انتهای سرریز که جریان فوق بحرانی است ساخته شده و هدف از آن رساندن جریان به حالت زیر بحرانی است طوری که انرژی جریان را گرفته و از اثرات مخرب جلوگیری کند. هر چه طول جهش کمتر باشد از اثرات مخرب بر روی کف بستر جلوگیری می شود.

- از بررسی داده‌های عددی در مقاطع مستطیلی با واگرایی صفر، 5، 10، 15 و 25 درجه مشاهده می‌شود که در تمامی آزمایش‌ها نسبت عمق ثانویه به اولیه با افزایش عدد فرود به صورت خطی افزایش می‌یابد.

- با بررسی شکل 15 مشاهده می‌شود که بیشترین مقادیر فرود (عدد فرود در بالادست جریان فوق بحرانی و در پایین‌دست جریان زیر بحرانی است) و نسبت عمق ثانویه به اولیه در زاویه واگرایی کم رخ می‌دهد و هر چه زاویه واگرایی بیشتر می‌شود مقادیر عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه کم می‌شود. همچنین شیب خطوط عدد فرود و نسبت اعماق در زاویه واگرایی 5 درجه بیشترین مقدار را دارد.

- در تمامی حالتها با افزایش زاویه واگرایی در یک دبی معین مقدار طول جهش هیدرولیکی به جز حالت زاویه واگرایی 25 درجه افزایش می یابد.

- در تمامی حالتها با افزایش طول جهش، عدد فرود و نسبت عمق ثانویه به اولیه افزایش می‌یابد. در زاویه واگرایی 25 درجه طول جهش به طور چشمگیری نسبت به بقیه حالتها کاهش می‌یابد.

پیشنهادها

موارد زیر برای ادامه تحقیق حاضر پیشنهاد می‌شود.

- نوع مدل آشفتگی استفاده شده در این تحقیق مدل RNG بوده است. پیشنهاد می‌شود به بررسی و تفاوتهای دیگر مدلهای آشفتگی مثل εK- نیز پرداخته شود.

- این پروژه در ابعاد و دبی‌های متفاوتی در محدوده‌ای مشخص انجام شده بود و صرفا نتایج ارائه شده در این محدوده بیان شده است، پیشنهاد می‌شود با تغییر ابعاد و دبی بتوان محدوده گسترده‌ای از نتایج را شامل شد.

- به جهت مقایسه‌ای بین حالتهای مختلف حوضچه‌ها توصیه می‌شود که دیگر انواع حوضچه‌های آرامش نیز به صورت عددی تحلیل و مقایسه شوند.

- از نرم‌افزارهایی که می‌توان در حوزه هیدرولیک و به روش حجم محدود به بررسی و تحلیل نتایج پرداخت می‌توان به نرم‌افزار FLUENT و CFX اشاره نمود. پیشنهاد می‌شود مقایسه‌ای با این نرم‌افزارها در زمینه تحقیق حاضر انجام شود.

مراجع

[1] اسماعیلی، م. مطالعه خصوصیات جهش هیدرولیکی واگرا در حوضچه آرامش ذوزنقه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد در گرایش سازه های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران، 1384.

www.SID.ir

Archive of SID

[2] نیسی، ک.، شفاعی بجستان، م. بررسی مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش واگرای ناگهانی با بستر زبر، مجله دانش آب و خاک، 1391.

[3] Arabhabhirama A. Hydraulic jump within gradually expanding channel. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1971.

[4] امید، م.، اسمعیلی ورکی، م. مطالعه تئوری و آزمایشگاهی جهش هیدرولیکی واگرا در مقاطع ذوزنقه ای شکل، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، 1384.

[5] شجاعیان، ز.، حسین زاده دلیر، ع.، فرسادی زاده، د. بررسی ویژگی های پرش هیدرولیکی در مقاطع مستطیلی واگرا با شیب معکوس، نشریه دانش آب و خاک دانشگاه تبریز، 1390.

[6] کاسی، ا. مطالعه آزمایشگاهی خصوصیات جهش هیدرولیکی واگرا در حوضچه آرامش با شیب کف معکوس، پایان نامه کارشناسی ارشد در گرایش سازه های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی دانشگاه تهران، 1389.

[7] بختیاری، م.، کاشفی پور، م. بررسی خصوصیات هیدرولیکی پارامترهای پرش در مقاطع واگرا، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، 17 تا 19 اردیبهشت، دانشگاه تهران، 1387.

[8] صاحبی، ف.، اسماعیلی، م. ارزیابی اقتصادی تاثیر واگرایی دیواره های حوضچه آرامش بر تغییر هزینه های ساخت آن، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه، دانشگاه ارومیه، 1391.

[9] کاظمیان زاده، ا.، شفاعی بجستان، م. تاثیر آرایش زبری های مکعب شکل بر میزان استهلاک انرژی پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، 1388.

[10] Elsebaie I., Shabayek Sh. Formation of Hydraulic Jumps on corrugated Bed. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2010.

[11] Ead S., Rajaratnam N. Hydraulic jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 2002.

[12] بدیع زادگان، ر.، اسماعیلی، ک. مشخصات پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش کانال های آبیاری با بستر موج دار، نشریه آب و خاک، 1390.

[13] هنر، ت.، پورحمزه، س. مطالعات آزمایشگاهی پرش هیدرولیکی همگرا در حوضچه آرامش، نشریه آب و خاک، 1389.

www.SID.ir