تأثیر توامان دیواره های روزنه دار و پیوسته بر کاهش طول حوضچه های آرامش

محمد سعید نظریان[1] ، محمد حسین پورمحمدی[2*]

۱- گروه عمران، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران، p4341.pedram@gmail.com

۲- گروه علوم آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران، purmohammadi@gmail.com

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۷/۰۲

چکیده

جریان آب بعد از عبور از روی سرریز وارد حالت فوق بحرانی شده که همراه انرژی زیاد و مخربی برای تأسیسات و عوارض طبیعی پایین دست می باشد. جهت کنترل این انرژی از مستهلک کننده ها استفاده می شود . معمول ترین و تقریبا می توان گفت عضو ثابت و پرکاربرد تأسیسات مستهلک کننده انرژی ، حوضچه آرامش می باشد. این حوضچه ها با تشکیل پرش هیدرولیکی در فاصله مکانی خاصی که همان طول حوضچه می باشد اقدام به استهلاک انرژی پرش و در نتیجه جریان می کنند. حوضچه با کمک متعلقات درون خود اقدام به این امر می نماید که از آنها به بلوک های آرام کننده یاد می شود . انواع مختلفی از این بلوک ها استفاده شده که درآخرین تحقیقات استفاده از زوج یا تک دیواره پیوسته یا ممتد و یا استفاده از زوج یا تک دیواره روزنه دار نتایج بهتری را داشته است. از این رو در این تحقیق با استفاده از نرم افزار FLOW 3D اقدام به شبیه سازی استفاده توأمان از یک دیواره پیوسته و یک دیواره روزنه دار برای طراحی حوضچه ای با طول کمتر و در نتیجه استهلاک هزینه ها شده است.

واژه های کلیدی : *پرش هیدرولیکی ، حوضچه آرامش ، استهلاک انرژی ، دیواره پیوسته ، دیواره روزنه دار*

مقدمه

حوضچه آرامش یا حوضچه پرش آبی عبارت است از قسمت کوتاهی از یک کانال کف سازی شده که به صورت سازه ای خاص در انتهای سرریزها، تنداب ها و یا هر منبع دیگری که جریان فوق بحرانی ایجاد کند، ساخته می شود و هدف از ساختن آن تشکیل پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه است. در این صورت جریان فوق بحرانی، قبل از رسیدن به قسمت های غیر کف سازی شده رودخانه، به جریان زیر بحرانی تغییر حالت داده و از انرژی فوق العاده آن کاسته شده و از خرابی های احتمالی آن جلوگیری می شود. این نوع مستهلک کننده ها به عنوان متداول ترین مستهلک کننده های انرژی در سدها بوده و عموماً دارای راندمان های بالای ۶۰ درصد در استهلاک انرژی می باشند.

هر حوضچه آرامش بر حسب شدت پرش هیدرولیکی، معمولا احتیاج به اجزایی دارد تا ضمن شکل دادن پرش هیدرولیکی در یک موقعیت و محل خاص، تا حد امکان از طول آن بکاهد. از جمله این اجزاء عبارتند از:

بلوک های آرام کننده که بلوک کف یا بلوک های حوضچه آرامش نیز نامیده می شوند، در قسمت میانی حوضچه آرامش قرار گرفته و هدف از ساخت آن ها، اتلاف انرژی به صورت متمرکز و یک جا می باشد. در برخی از حوضچه های آرامش، می توان از یک دیواره سرتاسری پیوسته یا روزنه دار با درصد بازشدگی مختلف بسته به شرایط کار به عنوان جایگزین بلوک ها استفاده کرد ، که عموماً دارای مزیت های زیر می باشد:

۱. کاهش طول پرش هیدرولیکی

۲. کاهش طول حوضچه آرامش
۳. افزایش نرخ استهلاک انرژی

هدف اصلی این تحقیق کاهش طول حوضچه آرامش نسبت به حوضچه های استاندارد مورد استفاده می باشد. بدیهی است که با کاهش طول پرش هیدرولیکی طول حوضچه آرامش نیز کاهش می یابد و در نتیجه هزینه های ساخت حوضچه نیز کاهش می یابد.

رند و همکاران با مقایسه میزان افت انرژی روی تک دیواره های ممتد (پیوسته) نسبت به دیواره های دندانه دار نتیجه گرفتند که دیواره های ممتد (پیوسته) افت انرژی بیشتری را ایجاد می کنند. راجراتنام و هورتیگ با آزمایش استفاده از یک دیواره روزنه دار با ۴۰ درصد بازشدگی دریافت که این نوع دیواره ها می توانند جایگزین خوبی برای سایر ضمائم آرام کننده در حوضچه های آرامش باشند. بعدها دیگر دانشمندان با آزمایش روی تعداد دیواره ها، فاصله از یکدیگر، فاصله از ابتدای پرش و ارتفاع دیواره به نتایج بهتر و قابل قبول تری رسیدند. فتحی مقدم (۱۳۹۵)

بیرامی و ایلاقی (۱۳۸۳) با استفاده از دو دیواره ممتد و بعدها خانخانی زوراب (۱۳۹۵) با استفاده از زوج دیواره روزنه دار به نتایج بهتر و تکمیل رسیدند. هر دوی این محققین در آزمایشات خود دریافتند که موراد مورد تحقیقشان در اعداد فرود بالای ۷ عملکردی به مراتب بهتر در خصوص کاهش طول پرش هیدرولیکی نسبت به حوضچه استاندارد UBSR III داشته اند.

این نوع حوضچه آرامش ، برای شرایطی که ۴/۵<Fr<۹ و V1<۱۸/۲۵m/s باشد، طراحی گردیده است. در این حوضچه از بلوک های پای تند آب و نیز آبپایه دندانه دار و همچنین بلوک های کف استفاده شده است. نقش بلوک های کف در این حالت، کنترل و تثبیت بهتر پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه آرامش است که باعث افزایش افت انرژی و کاهش طول پرش هیدرولیکی نیز می شود. در این حالت عمق آب داخل حوضچه با عمق ثانویه پرش هیدرولیکی برابر است و معمولا این نوع حوضچه آرامش، برای سرریزهای کوتاه و در بندهای انحرافی استفاده می گردد. محمودیان شوشتری (۱۳۸۹)

لذا باتوجه به مثبت بودن نتایج آزمایشات دو محقق مذکور در استفاده از زوج دیواره ممتد یا روزنه دار ضروری دانستیم که استفاده از زوج دیواره پیوسته و روزنه دار را بصورت توأمان مورد بررسی قرار دهیم . به این منظور با مدل کردن نرم افزاری یک دیواره پیوسته به ابعاد ۱×۱۳×۸۰ سانتیمتر و یک دیواره روزنه دار به ابعاد ۱×۷×۸۰ سانتیمتر با فاصله بهینه در نرم افزار FLOW 3D به بررسی موضوع پرداخته ایم.

مواد و روش ها

نحوه انجام شبیه سازی

برای انجام این شبیه‌سازی از نرم افزار FLOW-3D.v11.2.Update.2 و از نتایج آزمایشگاهی خانخانی زوراب (۱۳۹۵) به عنوان داده های نرم افزار استفاده شد. در مجموع میتوان گفت در این آزمایشهای کلی برای حالت های مختلف زیر درفلومی با ابعاد ۱۰ متر طول ، عرض ۸۰ سانتیمتر و ۶۵ سانتیمتر ارتفاع دیواره ها و همچنین دو دیواره روزنه دار به ابعاد ۱×۱۳×۸۰ سانتیمتر و ۱×۷×۸۰ سانتیمتر انجام شده و اندازه گیری ها و تجزیه و تحلیل های لازم صورت پذیرفت.

۱- بررسی کنترل پرش هیدرولیکی با استفاده از یک دیواره روزنه دار با سطح بازشدگی ۵۰ درصد

۲- بررسی کنترل پرش هیدرولیکی با استفاده از دو دیواره روزنه دار با ارتفاع ثابت و سطح بازشدگی ۵۰ درصد.

پس از انجام اندازه گیری ها، تجزیه و تحلیل داده ها به صورت زیر انجام شده است:

۱- عملکرد حوضچه آرامش در حضور یک و دو دیواره روزنه دار با فواصل مختلف از پنجه پرش هیدرولیکی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

۲- اثر دیواره های روزنه دار در استهلاک انرژی جریان و کاهش طول مورد نیاز حوضچه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

معرفی نرم افزارFLOW 3D

تحقیق حاضر بصورت عددی و نرم افزاری با استفاده از نرم افزار FLOW-3D.v11.2.Update.2 انجام می پذیرد. نرم افزار FLOW 3D شامل مدل های فیزیکی مختلف می‌باشد که عبارتند از: آب‌های کم عمق، کاویتاسیون، آشفتگی، آبشستگی، کشش سطحی، پوشش متخلخل ذرات و.... از این مدل‌ها در زمینه‌های ریخته‌گری مواد، مهندسی فرآیند، طراحی تزریق‌های مرکب، تولیدات مصرفی، هیدرولیک مهندسی محیط زیست، هوافضا، علوم دریایی، نفت، گاز و... استفاده می‌شود. ویژگی های نرم افزار در جدول ۱ آورده شده است .

جدول ۱ – ویژگی های نرم افزار FLOW 3D

عنوان ویژگی	FLOW 3D
مدل‌های آشفتگی	طول اختلاط پرانتل، یک معادله، دو معادله $\boldsymbol{\varepsilon}$ -k ، مدل های سه معادله ای RNG $\boldsymbol{k-\varepsilon}$ و مدل شبیه‌سازی بزرگ
مدل سازی	1-General 2-Physics 3-Fluids 4- Meshing & Geometry 5-Boundaries 6-Initial 7-Output 8-Numerics
General	زمان اتمام - تعداد سیالات - حالت جریان (شامل حالت تراکم‌پذیر با تراکم ناپذیر)
Physics	شامل بخش‌هایی نظیر ویسکوزیته که شامل حالت‌های سیال ویسکوز و غیر ویسکوز است، شتاب ثقل زمین، که در جهت قائم مختصات برابر ۹/۸۱- وارد می‌شود، کشش سطحی، حفره‌زدایی، آبشستگی رسوب و...
Fluids	ویسکوزینه ، جرم حجمی، تراکم‌پذیری، مشخصات گرمایی و آحاد
Meshing & Geometry	برای مشخص کردن حدود مش بندی، بلوک‌هایی تعیین می‌شود که کلیه اندازه سازه‌های مورد نظر و فضای آزاد در داخل آن تعریف می‌شود. می توان همه جزئیات سازه مورد نظر را در یک بلوک هم در نظر گرفت. سیستم مختصاتی می‌تواند از نوع کارتزین یا استوانه‌ای باشد.

روند شبیه سازی نرم افزار FLOW 3D

نظر به اینکه داده های ورودی نرم افزار را از کار آزمایشگاهی استخراج شده است می توان مطمئن بود که روند شبیه سازی کالیبره می باشد. سپس مراحل شبیه سازی با ترتیب : ۱- کلیات مسئله ۲- تعیین خواص فیزیکی ۳- تعیین خواص سیال ۴- تولید هندسه مسئله توسط ابزار موجود در نرم افزار FLOW 3D یا AUTO CAD یا..... و شبکه بندی و بررسی شبکه ایجاد شده ۵- تعیین شرایط مرزی ۶- تنظیم کردن خروجی های مورد نیاز ۷- شروع شبیه سازی انجام می شود.

تعیین ویژگیهای نرم افزار جهت شبیه سازی

زبانه General

در این زبانه اطلاعات کلی مدل را شامل زمان حل برنامه (۳۰ ثانیه) ، تعداد سیال (یک سیال ، فقط آب) ، سیستم اندازه گیری (SI) ، تراکم پذیری یا ناپذیر سیال (تراکم ناپذیر) ، واحد دما (سلسیوس) و زمان اتمام شبیه سازی که می‌تواند بر حسب زمان داده شده باشد یا بر حسب پر شدن کامل یا قسمتی از مش بندی مسئله (پر شدن کامل از مش بندی مسئله) انتخاب و وارد می شود.

زبانه Physics

این زبانه محل تعریف شرایط فیزیکی حاکم بر پدیده است که شامل شتاب ثقل (۹/۸۰۶-) ، مدل

آشفتگی (k-ε) ، ضریب ورودی هوا (۰/۵ ، پیش فرض) ، تعیین خوص سیال (آب ۲۰ درجه و هوای ۱۵ درجه ، پیش فرض) می باشد.

شرایط مرزی

شرایط مرزی تعیین کننده جریان و خاصیت‌های حرارتی در مرزها، با توجه به فیزیک مساله می‌باشند. در این تحقیق شرایط مرزی برای Xmin گزینه فشار ثابت ، Xmax گزینه مطابق با جریان ، Ymin و Ymax هر دو گزینه دیوار ، Zmin گزینه دیوار و Zmax گزینه تقارن معین شد.

تولید شکل و مش‌بندی مسئله

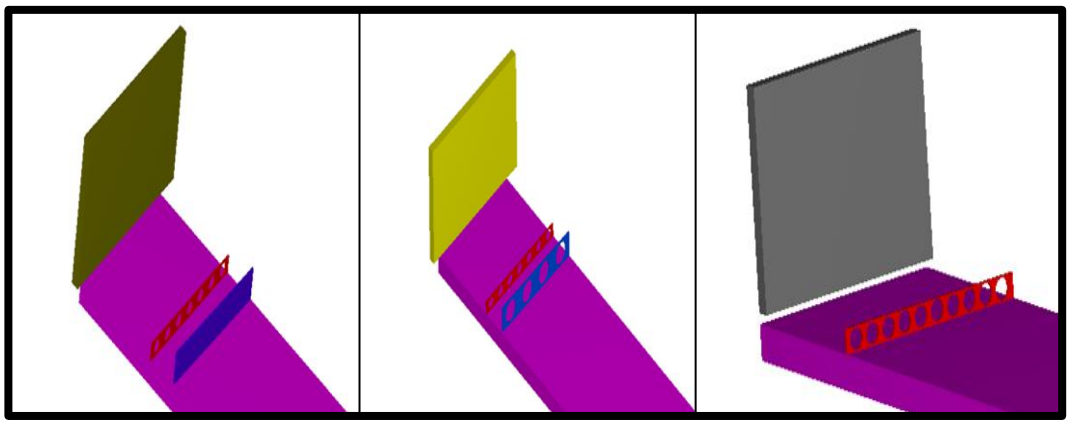
نرم افزار FLOW 3D به صورت پیش فرض از شبکه‌های عمود بر هم، در سیستم‌های مختصات کارتزین یا استوانه‌ایی استفاده می‌کند. ایجاد هندسه مورد نظر در این برنامه دارای روش‌های مختلفی است. سه نمونه از معمول‌ترین روش‌ها عبارتند از :

۱- استفاده از ابزار های موجود درFLOW 3D

۲-ایجاد هندسه در برنامه هایی نظیر اتوکد و فراخوانی آن درFLOW 3D

۳- ایجاد هندسه آبراهه با استفاده از اطلاعات توپو گرافی

در انجام این تحقیق برای شبیه‌سازی دیواره و کف کانال آزمایشگاهی از ابزارهای موجود در FLOW 3D استفاده شد. در شکل ۱ نمایی از شبیه سازی سناریوهای مختلف نمایش داده می شود.



شکل ۱- نمایی از شبیه سازی فلوم با حضور دیواره ها

تنظیم کردن خروجی های مورد Output

در این زبانه، نوع خروجی‌هایی که نیاز است و فواصل زمانی مورد نظر برای ذخیره آن‌ها به مدل معرفی می‌شود. در این تحقیق با انتخاب گزینه Hydraulic data پارامترهای مربوط به آن در میان داده‌های خروجی تولید خواهد شد. همچنین فواصل زمانی ۱ ثانیه برای خروجی‌گیری از مدل در قسمت restart data interval تنظیم شد.

نوع خروجی می‌تواند به صورت نتایج نموداری یا متنی در نواحی خاص تعریف شده توسط کاربر، گراف‌های یک بعدی، دو بعدی، سه بعدی و یا نتایج متنی باشد.

نتایج و بحث

در ابتدا سعی شده یک مقایسه بین نتایج مربوط به کار آزمایشگاهی و این مطالعه در شرایط یکسان انجام شود و بعد از آن به بحث درباره ی کارایی سناریو اصلی این مطالعه (یک دیواره روزنه دار و یک دیواره پیوسته)

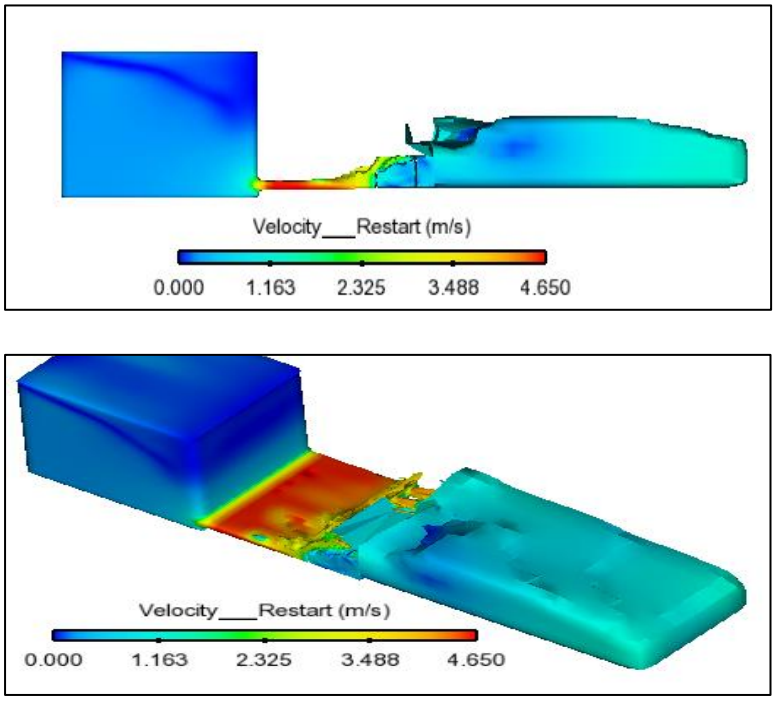
در برابر بهینه ترین حالت تحقیقات خانخانی و همکاران (۱۳۹۵) (دو دیواره روزنه دار) پرداخته شده است.

به همین منظور در گام اول مقادیر ۱- طول پرش هیدرولیکی ۲ - طول حوضچه آرامش، در حالت پرش آزاد استخراج شد. بعد از آن همین پارامترها در حالت های تک دیواره روزنه دار ، دو دیواره روزنه دار و یک دیوار پیوسته به همراه یک دیواره روزنه دار استخراج شدند و تغییرات پارامترهای مذکور نمایش داده شده است.

پرش در حضور تک دیواره روزنه دار

بعد از بررسی های انجام شده در کار آزمایشگاهی در خصوص ارتفاع دیواره روزنه دار، در نهایت از بین ۳ دیوار با ارتفاع های ۵، ۷ و ۹ سانتی متر، دیوار ۷ سانتی متری بهترین عملکرد را در بهینه کردن پرش هیدرولیکی داشت. از همین رو دیوار ۷ سانتی متری در ۳ فاصله ۵۰، ۶۰ و ۷۰ سانتی متری از پنجه پرش مورد بررسی قرار گرفت. دیواری که در فاصله ۶۰ سانتی متری قرار داشت بهترین عملکرد را از خود نشان داد. خانخانی زوراب (۱۳۹۵)

مدل سازی نرم افزاری نیز برای همین دیواره انجام شد که در شکل ۲ خروجی دوبعدی و سه بعدی سناریو آورده شده است.

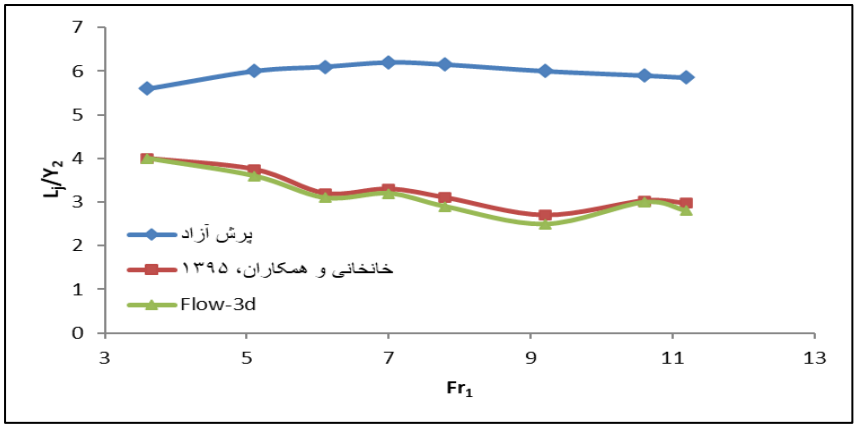


شکل ۲- خروجی دوبعدی و سه بعدی پرش در نرم افزار در حضور تک دیواره روزنه دار

طول پرش هیدرولیکی

از آنجا که در حالت تک دیواره روزنه دار قسمتی از جریان از طریق روزنه ها عبور می کنند، طول پرش هیدرولیکی به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد. به طوری که در مقایسه با پرش آزاد طول پرش کمتر می شود. شکل ۳ تغییرات نسبت طول حوضچه آرامش به عمق ثانویه پرش را در برابر تغییر عدد فرود برای حالت تک دیوار روزنه دار نشان می دهد. همانطور که از نمودار مشخص است در اعداد فرود کم با افزایش

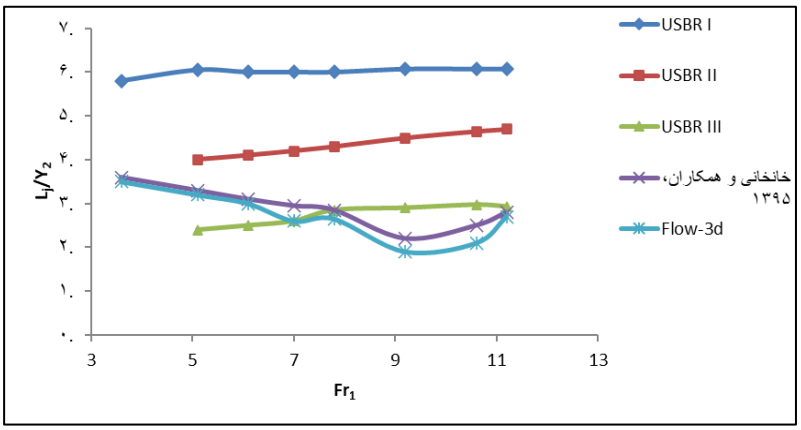
عدد فرود این نسبت کاهش و در اعداد فرود بالا، با افزایش عدد فرود این نسبت افزایش می یابد.



شکل ۳- تغییرات طول پرش هیدرولیکی در حضور تک دیواره روزنه دار

طول حوضچه آرامش

در کار آزمایشگاهی تک دیواره روزنه دار در فاصله ۵۰ سانتی متر بهترین عملکرد را در کاهش طول پرش داشت. از این رو در شکل ۴ به مقایسه طول حوضچه آرامش بدست آمده از حالت تک دیواره روزنه دار با سایر حوضچه های استاندارد پرداخته شده است. همانطور که از نمودار پیداست، در حالت تک دیواره روزنه دار طول حوضچه آرامش کمتری نسبت به حوضچه آرامش USBR نوع ۱، ۲ و ۳ دارد. با این تفاوت که تا عدد فرود ۸ حوضچه آرامش USBR III عملکرد بهتری نسبت به حالت تک دیوار روزنه دار دارد. زیرا در اعداد فرود کم به علت کم بودن مقدار سرعت جریان در برخورد با قسمت پیوسته دیوار و همچنین کم بودن سرعت های جت خروجی از روزنه ها، غلتاب های تشکیل شده شدت کمی دارند و تأثیر دیوار روزنه دار در کاهش طول حوضچه کمتر است. اما در عددهای فرود بیش از ۸ عملکرد حالت تک دیوار روزنه دار از USBR III بهتر شده است. زیرا جت های خروجی از روزنه ها شدت بیشتری داشته و غلتاب های تشکیل شده کامل تر و شدت بیشتری دارند. بنابراین اثر بهتری در کاهش طول حوضچه دارد.

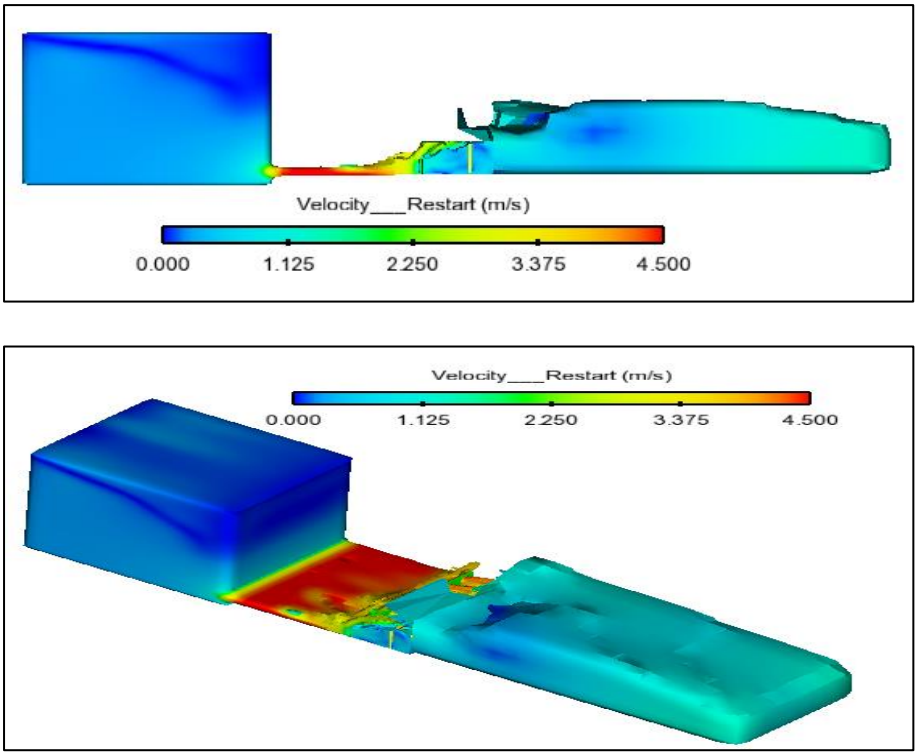


شکل ٤- تغییرات طول حوضچه آرامش در حضور تک دیواره روزنه دار

پرش در حضور زوج دیواره روزنه دار

با توجه به نتایج قسمت قبل (تک دیوار روزنه دار) دیواره در فاصله ۶۰ سانتی متر بهترین عملکرد را در افت نسبی انرژی و عمق ثانویه پرش داشتند. از همین رو و با توجه به کارایی خوب تک دیواره روزنه دار در کنترل پرش هیدرولیکی، خانخانی و همکارن (۱۳۹۵) تصمیم گرفتند که پرش هیدرولیکی با حضور دو دیواره روزنه دار را در دستور کار خود قرار دهند. آنها دیوار روزنه دار دوم را در فواصل ۱۰، ۲۰ و ۳۰ سانتی متری از دیوار اول قرار دادند و آزمایشاتی را در جهت کنترل پرش هیدرولیکی انجام دادند تا در نهایت توانستند فاصله زوج دیواره با بهترین عملکرد یعنی ۲۰ سانتی متری را انتخاب کنند.

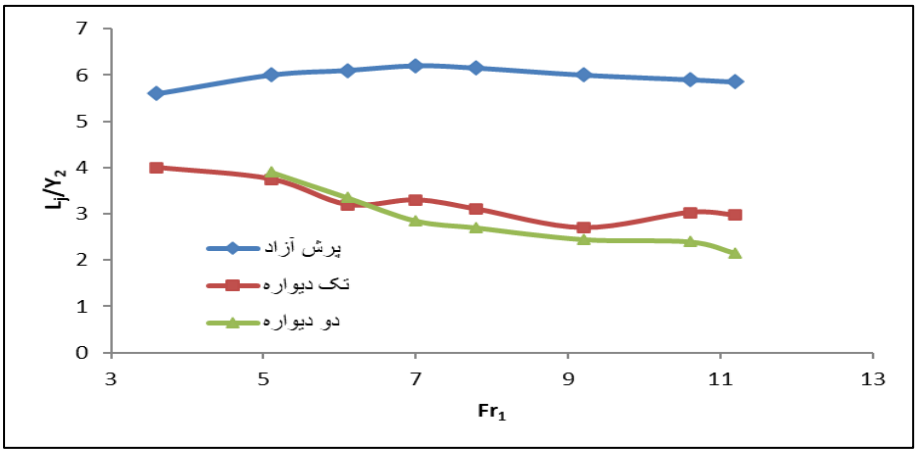
بنابراین در این مطالعه فلوم جریان در حضور دو دیواره روزنه دار با فواصل ذکر شده در بالا بصورت عددی با FLOW 3D شبیه سازی شد و خروجی های دوبعدی و سه بعدی سناریو مذکور در شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵- خروجی دوبعدی و سه بعدی پرش در نرم افزار در حضور تک دیواره روزنه دار

طول پرش هیدرولیکی

در طراحی دیواره روزنه دار دوم سعی شده است که بیشترین همپوشانی را با دیوار روزنه دار اول داشته باشد. به گونه ای که قسمت های پیوسته دیوار دوم مانع از عبور جریان رد شده از روزنه های دیوار اول شود. این امر باعث کاهش چشمگیر طول حوضچه آرامش در مقایسه با حالت تک دیوار روزنه دار و سایر حوضچه های استاندارد می شود. مطابق با نمودار در عدد فرود ۱۱/۲، زوج دیواره طول پرش را تا ۲/۱۵ برابر عمق ثانویه پرش آزاد کاهش می دهند که کمترین مقدار بدست آمده برای طول پرش است. شکل ۶

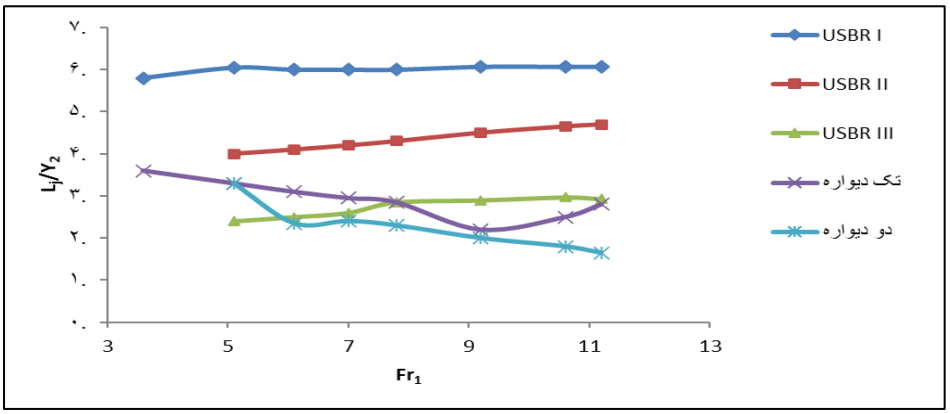


شکل ٦- تغییرات طول پرش هیدرولیکی در حضور زوج دیواره روزنه دار

طول حوضچه آرامش

شکل ۷ تغییرات طول حوضچه آرامش را به ازای تغییر در عدد فرود نشان می دهد. روند این تغییرات به گونه ای است که با افزایش عدد فرود کاهش می یابد. مطابق با نمودار عملکرد حوضچه آرامش در حالت ۲ دو دیوار روزنه دار از حوضچه های آرامش استاندارد USBR I، USBR II و USBR III بهتر بوده و طول حوضچه آرامش کمتری نسبت به آن ها بدست آمده است که این نشان از کارایی و بهینه بودن این طراحی دارد. فقط به عنوان استثنا در اعداد فرود ۳/۶ و ۵/۱ حوضچه آرامش استاندارد USBR III مقادیر کمتری از طول حوضچه آرامش نسبت به حالت دو دیواره روزنه دار داشته و در واقع در این دو عدد فرود عملکردش بهتر بوده است. در اطراف عدد فرود ۷، حالت زوج دیواره، مقدار طول حوضچه کمتری از حوضچه استاندارد USBR III داشته است.

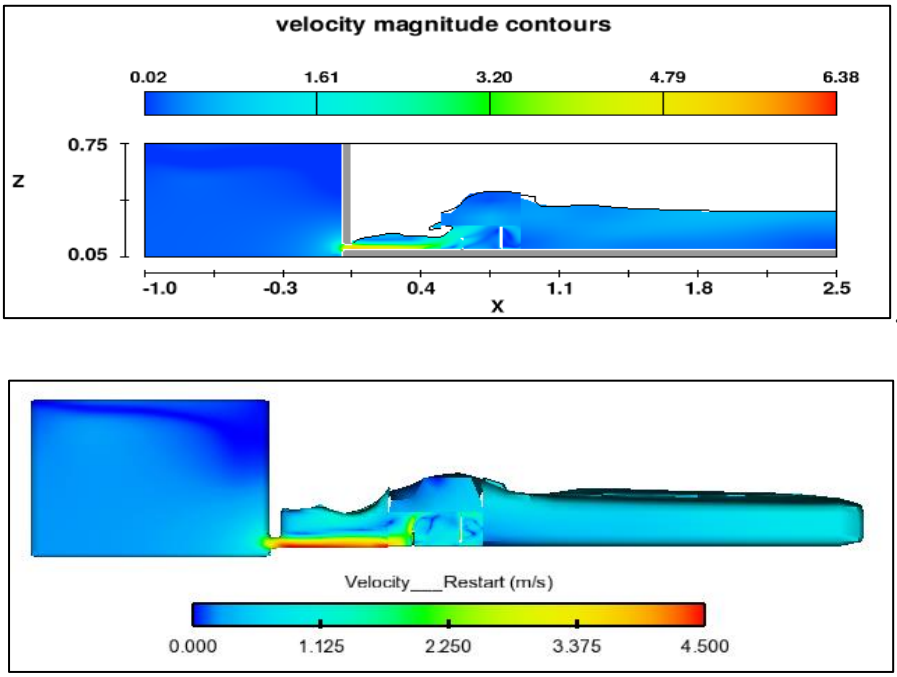
در حالت دو دیواره روزنه دار در اعداد فرود پایین، اگر چه سرعت جریان در هنگام برخورد با دیواره و عبور از روزنه ها مانند حالت تک دیواره کم است، اما بعد از عبور از دیواره اول و برخورد به دیواره دوم و عبور از روزنه دیواره دوم باعث می شود طول حوضچه کمتری نسبت به حالت تک دیواره بدست آید. بنابراین نمودار مربوط به حالت زوج دیواره نرخ کاهش بیشتری نسبت به حالت تک دیواره دارد و قسمت بیشتر آن در زیر نمودار USBR III قرار می گیرد.



شکل ۷- تغییرات طول حوضچه آرامش در حضور تک دیواره روزنه دار

پرش در حضور زوج دیواره روزنه دار و پیوسته

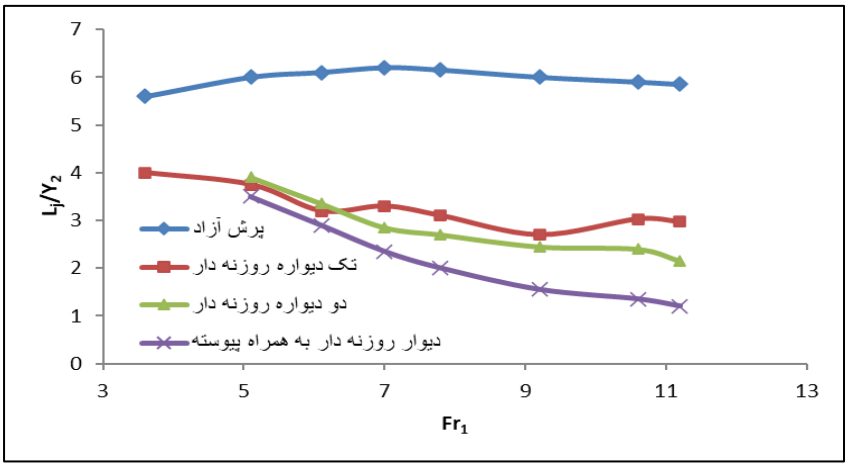
تا اینجای کار سعی شد حالت های متداول در کنترل پرش هیدرولیکی مثل استفاده از دیواره های روزنه دار بصورت تکی و یا زوجی مورد بررسی قرار گیرند. نتایج نشان دهنده ی کارایی بهتر استفاده از زوج دیواره روزنه دار بود. از همین رو تصمیم گرفته شد که با یک ایده ی جدید از یک دیواره روزنه دار به همراه یک دیوار پیوسته بصورت توأمان برای کنترل خصوصیات هیدرولیکی پرش استفاده شود. مطابق با توصیه بیرامی و ایلاقی ، (۱۳۸۳) چنانچه دیواره دوم بلندتر از دیواره اول باشد، اثر قابل ملاحظه تری در کنترل پرش هیدرولیکی دارد. بنابراین دیوار دوم بلند تر از دیوار اول انتخاب شد. از آن جا که در قسمت های قبل ابعاد و فاصله بهینه این دیوارها از پنجه پرش بدست آمد، در این قسمت زوج دیواره پیوسته به همراه روزنه دار در فاصله ۶۰ سانتی متری از پنجه پرش بررسی شده است. در شکل ۸ خروجی های دوبعدی و سه بعدی سناریو را نشان می دهد



شکل ۸- خروجی دوبعدی و سه بعدی پرش در نرم افزار در حضور زوج دیواره روزنه دار و پیوسته

طول پرش هیدرولیکی

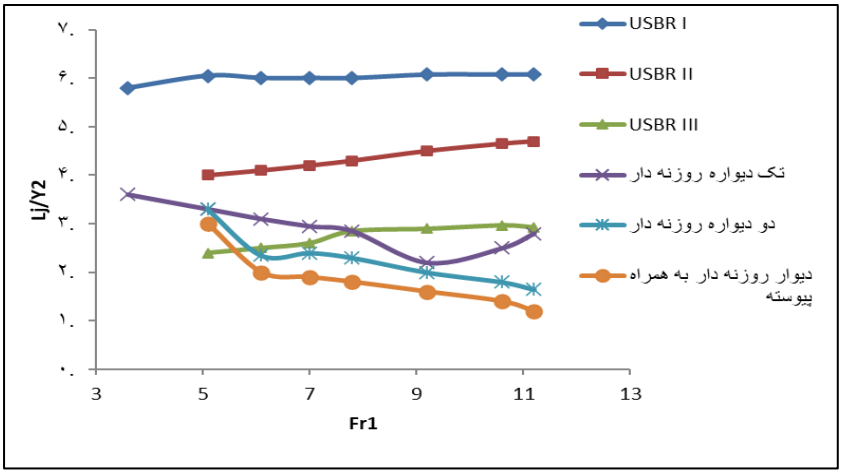
در شکل ۹ تغییرات طول پرش هیدرولیکی در حضور دیواره پیوسته به همراه دیواره روزنه دار بصورت توأمان آورده شده است. مطابق با نمودار با افزایش عدد فرود طول پرش هیدرولیکی کم شده است. اگرچه نرخ کاهشی طول پرش با افزایش عدد فرود کم شده است، اما اختلاف بین طول پرش در حالت دیواره روزنه دار به همراه دیواره پیوسته بصورت توأمان و پرش آزاد در اعداد فرود بالا بیشتر شده است. با مقایسه تغییرات بین حالت های زوج دیواره روزنه دار به همراه دیواره پیوسته بصورت توأمان با زوج دیواره روزنه دار می توان گفت که نحوه تغییرات نمودارها مشابه است اما از لحاظ مقدار، حالت زوج دیواره روزنه دار به همراه دیواره پیوسته بصورت توأمان مقادیر کمتری نسبت به زوج دیواره روزنه دار دارد.



شکل ۹- تغییرات طول پرش هیدرولیکی در حضور زوج دیواره روزنه دار و پیوسته

طول حوضچه آرامش

شکل ۱۰ مربوط به تغییرات طول حوضچه آرامش را نشان می دهد. مطابق با نمودار به ازای افزایش عدد فرود طول حوضچه آرامش در حالت زوج دیواره روزنه دار به همراه پیوسته کاهش یافته است. در عدد فرود ۵/۱ عملکرد حوضچه آرامش USBR III بهتر از زوج دیواره روزنه دار به همراه پیوسته بوده است. اما در سایر اعداد فرود عملکرد زوج دیواره پیوسته به همراه روزنه دار بهتر از حوضچه های آرامش USBR I, USBR II و USBR III می باشد



شکل ۱۰- تغییرات طول حوضچه آرامش در حضور زوج دیواره روزنه دار و پیوسته

نتیجه گیری کلی

از نمودارها و توضیحات بالا مشاهده می شود که استفاده از زوج دیواره روزنه دار و پیوسته در کاهش طول پرش هیدرولیکی و همچنین زول حوضچه آرامش عملکرد بهتری نسبت به تیپ های استاندارد و معمول USBR و همچنین نسبت به حوضچه های با حضور زوج دیواره پیوسته و روزنه دار دارا می باشد. لذا می توان در طراحی حوضچه های آرامش جدید یا اصلاح حوضچه های قبلی از این نوع آرام کننده ها استفاده نمود.

منابع

۱. بیرامی، م. ک. ایلاقی حسینی، م. ۱۳۸۳. کنترل پرش هیدرولیکی با یک و دو دیواره ممتد در حوضچه آرامش افقی. نشریه استقلال

۲. خانخانی زوراب، ر. کاشفی پور، م. ۱۳۹۵. مطالعه آزمایشگاهی اثر دیواره های روزنه دار در حوضچه آرامش بر عمق ثانویه و طول غلتاب پرش هیدرولیکی. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)

۳. سعدی، ح. سجادی، م. ۱۳۹۵. بررسی آزمایشگاهی اثر آستانه پلکانی صلب روزنه دار بر خصوصیات پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش افقی. پانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی و معندسی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین

۴. فتحی مقدم، م. آسیابان، پ. کیانی ، س . اکبر پور، ف. ۱۳۹۵. پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش با آستانه روزنه دار و پیوسته. نشریه دانش آب و خاک

۵. کیانی، س. فتحی مقدم، م. بهروزی راد، ر. داوودی، لیلا. ۱۳۹۴. کنترل پرش هیدرولیکی در حوضچه های آرامش با دیواره روزنه دار. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب

۶. محمودیان شوشتری، م. ۱۳۸۹. کتاب اصول جریان در مجاری باز جلد ۱ و ۲ . انتشارات دانشگاه شهید چمران

7. Ashour. M . A . T. Sayed and S. El-Attar. 2015. Impact of Curved Shaped Energy Dissipaters Downstream Diversion Head Structures on the Dissolved Oxygen Content in Irrigation Canals & Enhancement of Irrigation Water Quality. IJRT

8. Helal. E. Y. T. H. Nassralla and A. A. Abdelaziz. 2013. Minimizing of Scour Downstream Hydraulic Structures Using Sills. IJCSE