تأثیر توامان دیواره های روزنه دار و پیوسته بر کاهش عمق ثانویه و افت انرژی نسبی پرش هیدرولیکی در 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:۱۳۹۹/۰۱/۲۷ تاریخ پذیرش:۱۳۹۹/۰۳/۰۲

چکیده

آب زمانی که وارد تنداب می شود رفته پرسرعت شده و در پایین تنداب دارای سرعت زیادی می گردد . به طوری که جریان فوق بحرانی شده و انرژی جنبشی مخربی را دارا می شود . لذا جهت حفظ عوارض طبیعی پایین دست سرریزها اعم از رودخانه ها و بدنه سدها باید این انرژی مستهلک شود. محققان برای دستیابی به این مهم در صدد ایجاد مستهلک کننده های انرژی کوشیدند . ازجمله آنها حوضچه های آرامش می باشد .مکانیزم حوضچه آرامش به گونه ای است که در یک فاصله کوتاه ایجاد پرش هیدرولیکی می نماید و سپس از تماس با متعلقات موجود اعم از بلوک های آرام کننده ، دیواره های پیوسته ، دیواره های روزنه دار به مستهلک کردن انرژی حاصل از تنداب و سپس پرش هیدرولیکی کمک نمایند. افراد زیادی در زمینه دیواره های روزنه دار و پیوسته بصورت تک یا زوج دیواره با لحاظ نمودن شرایط جریان و ابعاد هندسی متفاوت کوشیدند. لذا تصمیم گرفته شد تا با بررسی استفاده توأمان از زوج دیواره روزنه دار و پیوسته نسبت به کنترل پرش هیدرولیکی با هدف ۱-کم کردن عمق ثانویه ۲- افت انرژی نسبی اقدام شود. 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 شد. نتیجه ای که حاصل شد استفاده از یک دیواره روزنه دار و یک دیواره پیوسته نسبت به دیگر سناریوها اتلاف انرژی بیشتری داشت .

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

مقدمه

آب در زمانی که از روی سرریز عبور می کند و وارد تنداب می شود، رفته بر سرعت آن افزوده شده تا نهایتا در پائین تنداب، جریان دارای سرعت فوق العاده زیادی می گردد، به طوری که جریان حالت فوق بحرانی داشته و انرژی جنبشی بسیار زیاد و مخربی دارد. استهلاک انرژی جنبشی تولید شده در سرریز ها امری ضروری است. این ضرورت نه تنها به جهت محافظت کف و دیواره های رودخانه پایین دست در مقابل فرسایش ناشی از سرعت و انرژی بالای جریان می باشد، بلکه به دلیل اطمینان از محافظت از سازه های پایین دست مانند بدنه سد، خروجی نیروگاه، تخلیه کننده های عمقی و خروجی آبگیرها و نیز کانال های انتقال در مقابل جریان با سرعت بالا می باشد. حوضچه های آرامش با پرش هیدرولیکی شامل کف بندهای افقی و شیب دار و نیز متعلقات استهلاک انرژی از قبیل بلوک های تنداب، بلوک های حوضچه و دیواره های انتهایی پیوسته، روزنه دار و دندانه دار می باشند. در برخی از

حوضچه های آرامش، می توان از یک یا دو دیواره سرتاسری پیوسته یا روزنه دار با درصد بازشدگی مختلف به عنوان جایگزین بلوک ها استفاده کرد. لذا تحقیق در این زمینه را ضروری به نظر رسید.

بیرامی و ایلاقی (۱۳۸۳) آزمایشاتی نیز بر روی کنترل پرش هیدرولیکی با استفاده از دو دیواره پیوسته انجام داده و دریافتند با افزایش ارتفاع دیواره و کاهش فاصله قرار گیری فاصله آن از پنجه پرش، عمق ثانویه پرش هیدرولیکی کاهش می یابد . بعدها خانخانی زوراب و همکاران (۱۳۹۵) با تحقیقاتی برروی تک دیواره و زوج دیواره روزنه دار با فواصل مختلف از پنجه پرش و درصد بازشدگی های مختلف ، دریافتند که زوج دیواره روزنه دار عمق ثانویه پرش هیدرولیکی را تا ۲۷/۷۵ دصد کمتر از عمق ثانویه پرش هیدرولیکی آزاد میرساند. در زوج دیواره روزنه دار به دلیل وجود روزنه های بیشتر نسبت به حالت تک دیواره، اصطکاک بیشتر شده و با همپوشانی مناسب دیواره ها،جریان با قسمت پیوسته دیواره ها برخورد بیشتری دارد که این موضوع در کاهش عمق ثانویه پرش هیدرولیکی و طول غلتاب بسیار مهم است. همچنین زوج دیواره روزنه دار عمق ثانویه پرش هیدرولیکی را تا ۱۱/۲ درصد بیشتر از تک دیواره روزنه دار کاهش میدهد.

لذا با توجه به عملکرد بهتر استفاده از زوج دیواره ما برآن شدیم تا با بررسی استفاده توأمان از یک دیواره روزنه دار و یک دیواره پیوسته نسبت به بررسی و کنترل پرش هیدرولیکی با هدف ۱-کم کردن عمق ثانویه ۲- افت انرژی حداکثری اقدام نماییم.

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 شده است.

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 رضا خانخانی زوراب به عنوان داده های نرم افزار استفاده شد. کلیه آزمایش‌ها بر روی یک فلوم پلکسی گلس به عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۵ سانتی‌متر و طول موثر ۱۰ متر انجام شد. در این فلوم برای تامین هد مورد نیاز جهت تشکیل پرش هیدرولیکی از یک مخزن آهنی در ابتدای فلوم استفاده می‌شد همچنین برای ایجاد جریان فوق بحرانی از یک دریچه کشویی که در ابتدای فلوم قرار داشت استفاده می‌شد آزمایشات در دبی۱۵۰تا ۳۰ لیتر بر ثانیه و برای اعداد فرود در بازه ۳/۶ تا ۱۱/۲ و با استفاده از دو دیواره‌ای روزنه‌دار ساخته شده از جنس پلکسی گلاس با باز شدگی بهینه سطح روزنه‌ها برابر ۵۰ درصد انجام شده است. ارتفاع دیواره روزنه دار اول ۷ سانتی متر و ارتفاع دیواره دوم ۱۳ سانتی متر انتخاب شده است . تصاویری از فلوم و متعلقات انجام کار آزمایشگاهی درشکل ۱ آورده شده است .

شکل ۱ – نمایی از فلوم آزمایشگاهی و دیواره های بکار رفته (خانخانی و همکاران ، ۱۳۹۵)

معرفی نرم افزار FLOW 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 یک نرم افزار قوی در زمینهCFD می‌باشد که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط Flow Science , Inc است و یک مدل مناسب برای حل مسائل پیچیده دینامیک سیالات بوده و قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل کند.این نرم افزار برای شبیه‌سازی جریان‌های سطح آزاد سه بعدی غیر ماندگار با هندسه پیچیده کاربرد فراوانی دارد .نرم افزارFlow 3D ، برای مسائل یک بعدی، دوبعدی و سه‌بعدی طراحی شده است . برنامه بر روی قوانین بنیادی جرم، مومنتوم و بقاء انرژی پایه‌گذاری شده است . ویژگی های نرم افزار در جدول ۱ آورده شده است .

جدول ۱- ویژگی های نرم افزار FLOW 3D کالیبراسیون نرم افزار FLOW 3D

عنوان ویژگی	Flow3D
مدل‌های آشفتگی	طول اختلاط پرانتل، یک معادله، دو معادله ε -k، مدل های سه معادله ای $k-\varepsilon$ RNGو 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 (که شامل حالت تراکم‌پذیر با تراکم ناپذیر است.)
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. می‌توان همه جزئیات سازه مورد نظر را در یک بلوک هم در نظر گرفت. سیستم مختصاتی می‌تواند از نوع کارتزین یا استوانه‌ای باشد.

اولین گام در یک مدل عددی کالیبره کردن مدل می‌باشد. بدین معنی که تاثیرات عوامل خارجی را به حداقل رسانده و شرایط مدل را به شرایط واقعی نزدیکتر کرد. با توجه به اینکه مدل عددی حاضر از روی مدل آزمایشگاهی ایجاد شده است، پس با یک مدل کالیبره شده آزمایشگاهی رو به رو هستیم که باید در مدل FLOW 3D ساخته و کالیبره شود، که به این منظور مراحل ۱- کلیات مسئله ۲- تعیین خواص فیزیکی ۳- تعیین خواص سیال ۴- تولید هندسه مسئله توسط ابزار موجود در نرم افزارFLOW 3D یا AUTO CADیا..... و شبکه بندی و بررسی شبکه ایجاد شده ۵- تعیین شرایط مرزی ۶- تنظیم کردن خروجی های مورد نیاز ۷- شروع شبیه سازی باید طی 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. شرایط مرزی یکی از اجزاء بسیار مهم و تعیین کننده‌ای در نرم افزار شبیه سازی Flow 3D است. در این تحقیق شرایط مرزی برای Xmin گزینه فشار ثابت ، Xmax گزینه مطابق جریان ، Ymin و Ymax هر دو گزینه دیوار ، Zmin گزینه دیوار و Zmax گزینه تقارن معین شد.

زبانه 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.

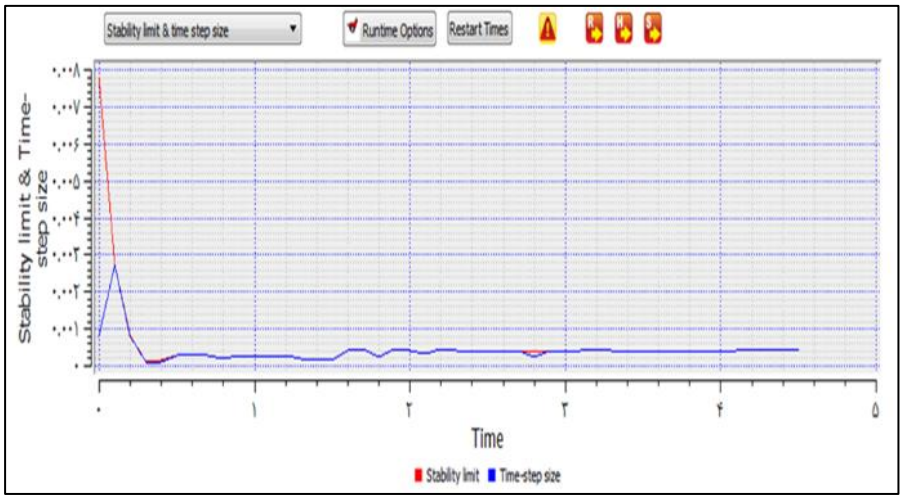
نتایج و بحث

سناریو های پیش بینی شده

در ابتدا سعی شده یک مقایسه بین نتایج مربوط به کار آرمایشگاهی خانخانی و همکاران (۱۳۹۵) 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 مقادیر ۱- عمق ثانویه پرش هیدرولیکی، ۲- افت انرژی نسبی، در حالت پرش آزاد استخراج شد. بعد برای همین پارامترها در حالت های پرش با حضور تک دیواره روزنه دار ، دو دیواره روزنه دار و یک دیوار پیوسته به همراه یک دیواره روزنه دار بررسی و مقایسه شدند و تغییرات پارامترهای مذکور نمایش داده شده است.

پایداری جریان

در بررسی های عددی جهت اطمینان از نتایج باید واگرایی و همگرایی جریان در نرم افزار بررسی شود. لذا به منظور اطمینان از صحت اجراهای انجام شده، پایداری جریان بعد از گذشت زمان مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که در حالت های مختلف با استخراج عمق ثانویه پرش و مانیتورینگ آن با گذشت زمان از ثابت شدن آن مطابق شکل روبرو اطمینان حاصل شد. شکل ۲

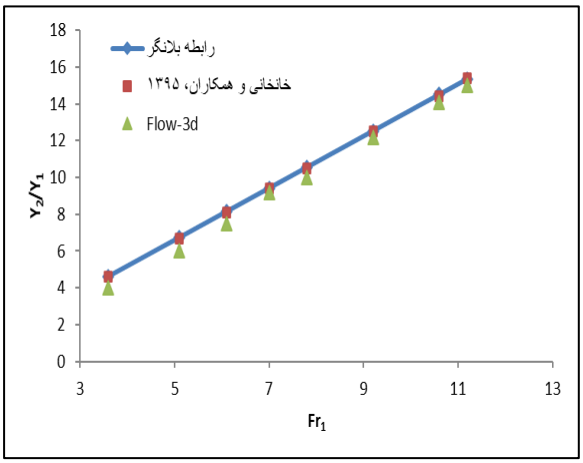


شکل ۲ - نمودار پایداری حل در Flow 3D

سناریو اول(پرش آزاد)

عمق ثانویه

خانخانی و همکاران، ۱۳۹۵ با تغییر در شرایط مرزی، پرش آزاد را ایجاد کرده و با رابطه بلانگر مقایسه کردند که تطابق خوبی داشت. در اینجا با مدل کردن پرش آزاد تحت ۸ عدد فرود مختلف مقادیر استخراج شده به نتایج خانخانی و همکاران نزدیک بود. شکل ۳ این مقایسه را نشان می دهد.



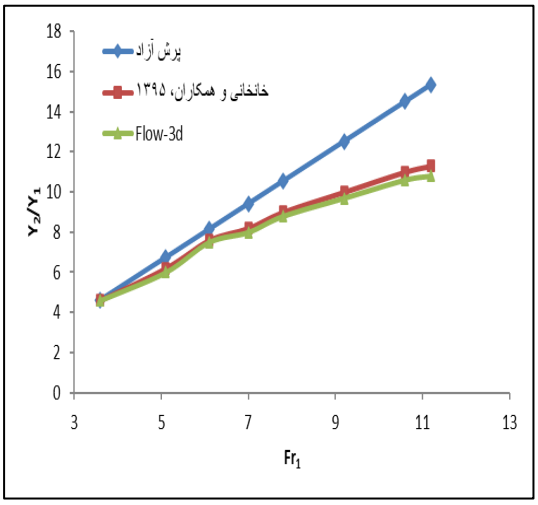
شکل ۳– تغییرات عمق ثانویه در پرش آزاد

سناریو دوم(تک دیواره روزنه دار)

بعد از بررسی های انجام شده 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 پارامترهای 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. در مطالعات خانخانی این دیوار عمق ثانویه پرش را به میزان ۲۲ درصد نسبت به پرش هیدرولیکی آزاد کاهش داد . نتایج مدل عددی به علت دقت بیشتر در استخراج نتایج و عدم اثرات ناشی از خطاهای رخ داده در برداشت نتایج مدل فیزیکی، کاهش بیشتری را در اعداد فرود بالا نشان داد.

عمق ثانویه

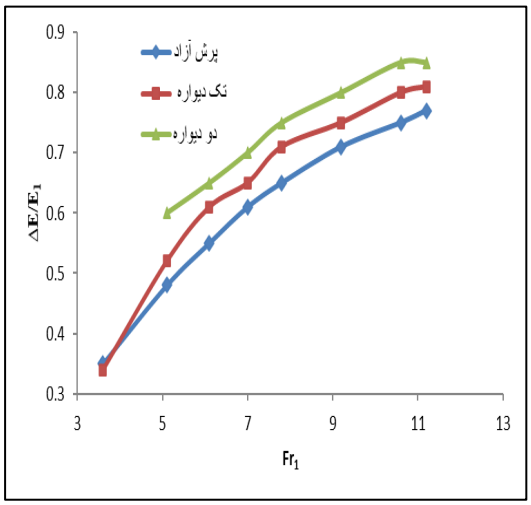
مطابق آزمایشات خانخانی و همکاران دیوار روزنه دار با ابعاد ۱×۷×۸۰ سانتیمتر در فاصله ۶۰ سانتی متری از ابتدای فلوم که بهترین عملکرد را در کاهش پارامترهای پرش هیدرولیکی داشته در نرم افزار مدلسازی و با سناریو حاضر مقایسه گردید . در مطالعات خانخانی این دیوار عمق ثانویه پرش را به میزان ۲۲ درصد نسبت به پرش هیدرولیکی آزاد کاهش داد. مطابق شکل ۴ نتایج نرم افزار کاهش بیشتری را با افزایش عدد فرود نسبت به کار آزمایشگاهی نشان می دهد.



شکل ٤ – تغییرات عمق ثانویه در حضور تک دیواره روزنه دار

افت انرژی نسبی

مطابق با شکل ۵ تک دیوار روزنه دار در اعداد فرود بالا نسبت به اعداد فرود کمتر، انرژی جریان را به میزان ۹/۴ درصد نسبت به حالت پرش آزاد بیشتر مستهلک می کند.



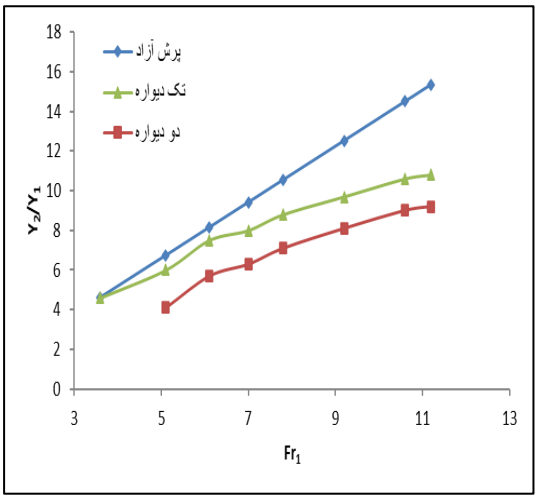
شکل ۵ – افت انرژی نسبی در حضور تک دیواره روزنه دار

سناریو سوم(دو دیواره روزنه دار)

با توجه به نتایج قسمت قبل (تک دیوار روزنه دار) دیوار در فاصله ۶۰ سانتی متر بهترین عملکرد را در افت نسبی انرژی پرش داشت. 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 بررسی خصوصیات هیدرولیکی از جمله عمق ثانویه پرش و افت نسبی انرژی انجام دادند تا در نهایت بتوانند فاصله زوج دیواره مناسب را که بهترین عملکرد را داشته باشند، انتخاب کنند. نتایج آنها در گام اول عملکرد بهتر دیوار روزنه دار اول در بهبود کاهش عمق ثانویه را در فاصله ۶۰ سانتی متری تآیید کرد. بنابراین در این مطالعه فلوم جریان در حضور دو دیواره روزنه دار نیز بصورت عددی با FLOW 3D شبیه سازی شد و نتایج مشابه با کار آزایشگاهی در برداشت.

عمق ثانویه

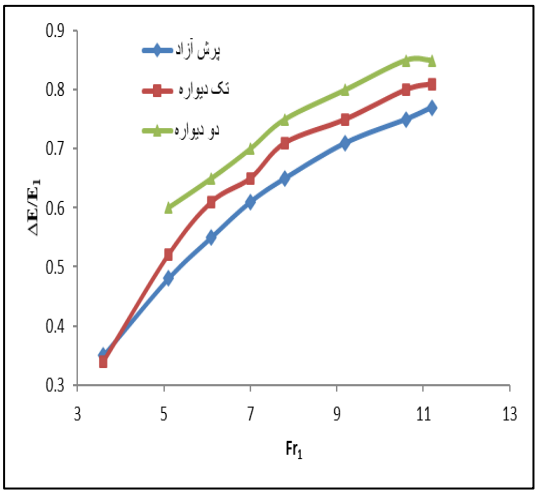
با مقایسه نتایج مربوط به تک دیواره روزنه دار با دو دیواره روزنه دار مشخص شد که در اعداد فرود کم اختلاف بین درصد کاهش عمق ثانویه در حالت تک دیوار روزنه دار با حالت دو دیوار روزنه دار حدود ۱۰ درصد است. یعنی حالت دو دیواره روزنه دار نسبت به حالت تک دیواره روزنه دار ۱۰ درصد بیشتر عمق ثانویه را کاهش می دهد. اما در اعداد فرود بالا این اختلاف به پنج درصد می رسد. شکل ۶



شکل ٦– تغییرات عمق ثانویه در حضور دو دیواره روزنه دار

افت انرژی نسبی

شکل ۷ نشان می دهد که زوج دیواره در فاصله ۶۰ و ۸۰ سانتی متر بهترین عملکرد را در افت نسبی انرژی در حالت دو دیواره روزنه دار داشتند. به طوری که میزان افت نسبی انرژی را به مقدار ۳/۶ درصد بیش از حالت پرش آزاد تبدیل می کنند و آن را به ۶/۸۱ می رسانند.



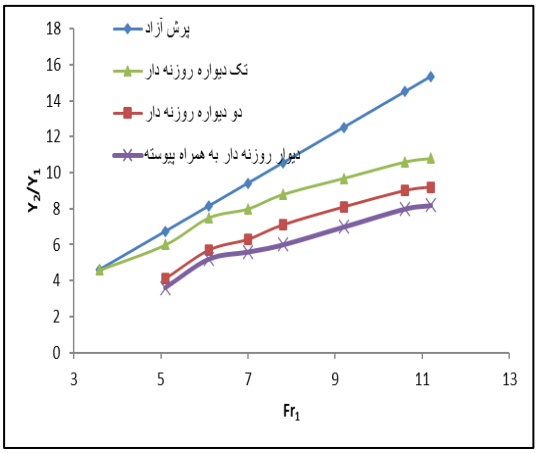
شکل ۷– افت انرژی نسبی در حضور دو دیواره روزنه دار

سناریو چهارم(یک دیواره روزنه دار و یک دیواره پیوسته)

تا اینجای کار سعی شد حالت های 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 پرش هیدرولیکی استفاده شود. مطابق با توصیه بیرامی و ایلاقی، (۱۳۸۳) چنانچه دیواره دوم بلندتر از دیواره اول باشد، اثر قابل ملاحظه تری در کاهش انرژی جنبشی و عمق ثانویه 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 و ۸۰ سانتی متری از پنجه پرش بررسی شده است. دراین سناریو از یک دیواره روزنه دار به ابعاد ۱×۷×۸۰ سانتی متری با درصد بازشدگی ۳۵ درصد و یک دیواره پیوسته به ابعاد ۱×۱۳×۸۰ سانتی متری برای شبیه اسفاده گردیده است . در ادامه و در قالب یک سری گراف تقاوت میان استفاده از یک دیوار روزنه دار، دو دیوار روزنه دار و یک دیوار پیوسته به همراه یک دیوار روزنه دار بصورت توأمان در کنترل پرش هیدرولیکی شرح داده شده است.

عمق ثانویه

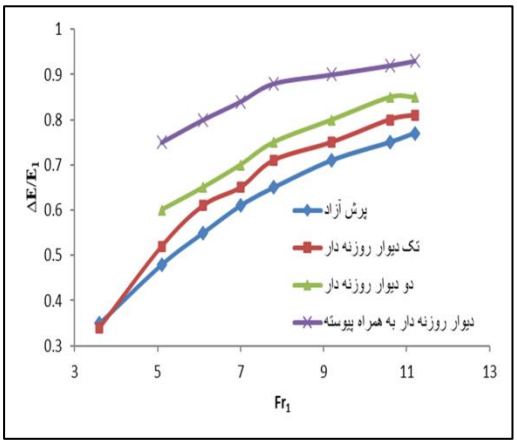
حضور دیوار پیوسته بعد از دیوار روزنه دار موجب کارایی بهتر طراحی شده است. چرا که جریان پس از برخورد با دیوار روزنه دار اول و عبور از روزنه های آن تا حدی مستهلک شده و هنگام برخورد با دیواره دوم انرژی آن تا حد زیادی گرفته می شود که این امر موجب پیدایش عمق ثانویه کمتر نسبت به دیگرحالت ها می شود. بیشترین کاهش عمق ثانویه در عدد فرود ۱۱/۲ معادل به مقدار ۲۷ درصد کمتر از حالت پرش آزاد بدست آمده است. شکل ۸



شکل ۸– تغییرات عمق ثانویه در حضور یک دیواره روزنه دار و یک دیواره پیوسته

افت انرژی نسبی

جریانی که به دیواره پیوسته برخورد می کند، قبل از آن بر اثر برخورد با قسمتهای پیوسته مابین روزنه ها وهمچنین اصطکاک ناشی برخورد جریان با جداره های داخلی روزنه ها ، تا حدی از انرژی آن کاسته شده است و به نوعی در این حالت نرخ افزایش افت نسبی انرژی بیش از سایر حالت ها است . شکل ۹ نمایانگر این ادعا می باشد.



شکل ۹– تغییرات افت انرژی نسبی در حضور یک دیواره روزنه دار و یک دیواره پیوسته

نتیجه گیری

سناریو دوم (تک دیواره روزنه دار)

از میان ابعاد مختلف استفاده شده برای دیواره ، دیواره با ارتفاع ۷ سانتی متر و از میان فواصل مختلف، دیوار در فاصله ۶۰ سانتی متر بهترین عملکرد را در کاهش عمق ثانویه داشتند و همچنین دریافتیم که با افزایش عدد فرود عمق ثانویه کاهش یافته و در اعداد فرود بالا نرخ کاهشی عمق ثانویه بیشتر می‌شود.

افت نسبی انرژی نسبت به پرش آزاد به میزان ۴/۹ درصد بیشتر شده و با افزایش عدد فرود مقدار افت نسبی انرژی نیز بیشتر می شود. در این بین بهترین عملکرد مربوط به دیوار در فاصله ۶۰ سانتی متری و با ارتفاع ۷ سانتی متر بود.

سناریو سوم (دو دیواره روزنه دار)

زوج دیواره روزنه دار در فواصل ۶۰ و ۸۰ سانتی متر بهترین عملکرد را در کاهش عمق ثانویه داشتند و عمق

مذکور را تا ۲۷ درصد نسبت به پرش آزاد کاهش دادند. در اعداد فرود کم اختلاف بین زوج دیواره روزنه دار با تک دیواره روزنه دار در کاهش عمق ثانویه ۱۰ درصد، و در اعداد فرود بالا ۵ درصد می‌باشد.

زوج دیواره در فواصل ۶۰ و ۸۰ سانتی متر با افتی معادل ۶/۳ درصد نسبت به پرش آزاد بهترین عملکرد را در افت نسبی انرژی داشتند. همچنین در فواصل ۵۰ و ۷۰ سانتی متر افت نسبی انرژی را نسبت به زوج دیواره پیوسته، ۰/۵ درصد بیشتر کردند.

سناریو چهارم(یک دیواره روزنه دار و یک دیواره پیوسته)

مطابق آزمایشات ایلاقی و بیرامی (۱۳۸۳) و همچنین خانخانی و همکاران (۱۳۹۵) استفاده از زوج دیواره عملکرد بهتری نسبت به تک دیواره در کنترل خصوصیات پرش هیدرولیکی دارا می باشد . و همچنین زوج دیواره روزنه دار نیز عملکرد بهتری نسبت به زوج دیواره پیوسته از نتیجه می دهد .

لذا در مجموع برآیند نهایی این تحقیق مقایسه تأثیر یک دیواره روزنه دار و یک دیوار پیوسته را با بهترین سناریو گدشته یعنی زوج دیواره روزنه دار می باشد که به شرح زیر می باشد .

– افت انرژی نسبی ۱۹/۷۲ ٪ با افزایش عدد فرود افزایش یافته است .

– عمق ثانویه پرش ۱۸/۲ ٪ با افزایش عدد فرود کاهش یافته است.

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