

بررسی عددی تاثیر طول حوضچه آرامش بر میزان استهلاک انرژی جریان (مطالعه موردی سرریز سد چایلی)

مهدی حمیدی^۱، فاطمه محمدحسینی^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۱۰/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۰۷

مقاله پژوهشی

چکیده

یکی از روش‌های متداول برای کاهش استهلاک انرژی جنبشی جریان استفاده از حوضچه آرامش می‌باشد. از مهمترین پارامترهای حوضچه آرامش که تاثیر زیادی بر هزینه‌های ساخت آن دارد، طول حوضچه است لذا می‌توان با بررسی و مطالعات دقیق سبب کاهش هزینه‌های ساخت در آن شد. در این پژوهش در ابتدا با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی چانسون و چاچرو، حوضچه آرامش اجرا و واسنجی گردید. سپس سرریز سد چایلی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D با مدل آشفتگی RNG مدل‌سازی و پارامترهای هیدرولیکی جریان با اعمال تغییرات در طول حوضچه آرامش مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد، افزایش و کاهش طول حوضچه آرامش و قرارگیری آبپایه انتهایی بر خصوصیات جریان و همچنین میزان اتلاف انرژی اثرهای متفاوتی دارد. از آنجاییکه افزایش میزان استهلاک انرژی، مطلوب ما می‌باشد لذا در بین حالت‌های مختلف طول حوضچه آرامش، افزایش طول حوضچه انتخاب می‌گردد. افزایش طول حوضچه آرامش سبب افزایش استهلاک انرژی جریان و کاهش فشار و نیروی وارد بر آب‌پایه انتهایی می‌شود. به طوری که استهلاک انرژی جریان با افزایش طول حوضچه آرامش به ۹۰ متر و ۱۲۰ متر نسبت به مدل مرجع با طول ۷۵ متر به ترتیب ۰/۵۵ و ۲/۸ درصد افزایش و نیروی وارد بر دیوار قائم آب‌پایه انتهایی به ترتیب ۵/۶۳ و ۳/۴۵ درصد کاهش داشته است. در ادامه اثر قرارگیری بلوک مستطیلی بر نیرو و میزان استهلاک انرژی جریان ارزیابی شد. نتایج نشان داد که ایجاد بلوک مستطیلی در درون حوضچه آرامش سبب کاهش عمق ثانویه پرش و کاهش ۷/۱ درصدی نیرو و افزایش افت نسبی انرژی به اندازه ۱۴/۳۱ درصد نسبت به حوضچه مرجع در حالت صاف شده است به نحوی که استفاده از بلوک‌ها حوضچه آرامش را نسبت به تغییرات در طول حوضچه اقتصادی‌تر خواهد نمود. بر این اساس، از نتایج این تحقیق و روش‌های مورد استفاده در آن می‌توان بعنوان ایده‌ای برای تعیین حوضچه آرامش بهینه استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: استهلاک انرژی، حوضچه آرامش، مدل آشفتگی RNG، نرم‌افزار Flow-3D.

^۱ استادیار، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران. (نویسنده مسئول).

پست الکترونیکی: hamidi@nit.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، ایران.

پست الکترونیکی: M.mohammadhoseyni@gmail.com

مقدمه

تامین ایمنی سدها در مقابل سیلاب‌های شدید یکی از مباحث بسیار مهم و حیاتی در طراحی سدها و سیستم‌های تخلیه سیلاب به شمار می‌رود و عدم توجه به طرح و اجرای سیستم تخلیه سیلاب مناسب، می‌تواند منجر به خسارات مالی و جانی جبران‌ناپذیر گردد. از این‌رو سیستم‌های تخلیه سیلاب و اجزای اصلی آن، که شامل سرریز و سامانه استهلاک انرژی می‌باشند همواره جزء مباحث مهم و مورد توجه در تحقیقات علمی و پژوهشی صنعت سدسازی به شمار می‌روند. جریان عبوری از روی سرریز عموماً دارای انرژی و سرعت بالایی می‌باشد و در صورت عدم استهلاک مناسب انرژی، جریان ورودی به رودخانه می‌تواند منجر به آسیب سازه‌های پایین‌دست و حتی بدنه سد و نهایتاً تخریب آن‌ها گردد. یکی از پرکاربردترین انواع سامانه استهلاک انرژی، حوضچه آرامش و ایجاد پدیده پرش هیدرولیکی در آن می‌باشد که با توجه به هزینه‌های اجرایی، بهینه نمودن اجزای آن یکی از دغدغه‌های طراحان سد و محققان سازه‌های هیدرولیکی به شمار می‌رود. پرش هیدرولیکی که نوعی جریان متغییر سریع می‌باشد زمانی رخ خواهد داد که با توجه به شرایط و موقعیت کانال، جریان عبوری از حالت فوق بحرانی به حالت زیر بحرانی تبدیل شود، که در این صورت عمق جریان در فاصله نسبتاً کوتاهی افزایش قابل ملاحظه‌ای می‌یابد به طوری که سبب کاهش انرژی به طور محسوس و از میزان سرعت به اندازه قابل توجهی کاسته می‌گردد. در سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی برای جلوگیری از خروج پرش هیدرولیکی و استقرار آن در درون حوضچه آرامش، حتی در حالتی که عمق پایاب از عمق ثانویه پرش آزاد کمتر باشد، از بلوک‌های میانی و آبپایه‌های انتهایی استفاده می‌شود. امروزه تحقیقات وسیعی درباره پرش هیدرولیکی و عملکرد آن و همچنین رفتار حوضچه‌های آرامش بر میزان استهلاک انرژی جریان به صورت آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی، صورت گرفته است که برای مرور پیشینه این تحقیقات می‌توان به صورت خلاصه به موارد زیر اشاره نمود. ساده‌ترین نوع

پرش هیدرولیکی، پرش هیدرولیکی کلاسیک می‌باشد که بر روی کف افقی و صاف درون کانال مستطیلی ایجاد می‌شود. این نوع از پرش به صورت گسترده‌ای توسط محققان مختلف از جمله (Henderson, 1966) مورد بررسی قرار گرفته است. (Ohtsu-Yasuda, 1991) پرش هیدرولیکی را بر روی پله معکوس مورد بررسی قرار دادند. آنها با بررسی اثر عمق پایاب، عدد فرود اولیه و ارتفاع پله بر نوع پرش، پرش هیدرولیکی را به ۶ دسته پرش نوع A، پرش حد واسط، پرش با حداکثر موج، پرش با امواج قطاری، نوع B و پرش حدی تقسیم‌بندی کردند. در همین راستا، (Mossa-Chanson, 2003) با در نظر گرفتن دامنه وسیعی از پارامترهای موثر، انواع پرش هیدرولیکی روی پله معکوس را بررسی نموده و نمودارهایی را بر حسب عدد فرود و عمق پایاب ارائه کردند. در سال ۱۹۵۷ برای اولین بار در سد نیمرو (آرکانزاس)، از حوضچه آرامش با آستانه انتهایی پلکانی استفاده شده است. این حوضچه در پایین‌دست سرریز اوجی قرار گرفته است به طوری که دبی عبوری را به وسیله ۷ دریچه کشویی کنترل می‌کند. نتایج نشان داد که عملکرد حوضچه آرامش در کنترل استهلاک انرژی و فرسایش پایین‌دست بسیار رضایت‌بخش بوده است. (Tang-Mize, 1982) به منظور اطمینان از تاثیر مستهلک‌کننده‌های انرژی، مدلی را برای بدست آوردن ابعاد بهینه حوضچه آرامش و ضامن آن ارائه کرده‌اند. (بیرامی و حسینی، ۱۳۸۴) کنترل پرش هیدرولیکی توسط یک یا دو آب‌پایه در حوضچه آرامش را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد، قرار دادن دو آب‌پایه در مسیر پرش به طوری که آب‌پایه دوم نسبت به آب‌پایه اول بلندتر باشد سبب کاهش عمق ثانویه پرش و افزایش افت انرژی می‌گردد. (Abdelazim, 2010) به بررسی تاثیر شکل حوضچه آرامش بر روی پرش هیدرولیکی مستغرق پرداختند. نتایج پژوهش‌ها نشان داد که حوضچه با آستانه پله‌ای مثبت در انتها، کمترین طول پرش مستغرق را ایجاد می‌کند. تحقیق دیگر توسط (Zahed-Farhadi, 2010) بر روی شکل‌گیری پروفیل آبشستگی در پایین‌دست حوضچه



داد که افزایش و کاهش ارتفاع به خصوصیات جریان و میزان اتلاف انرژی بلوک‌های آستانه و همچنین تغییر در فاصله آنها می‌تواند اثرات متفاوتی داشته باشد. (خواجه‌گودرزی و شفاعی بجستان، ۱۳۹۶) در مطالعات آزمایشگاهی، مشخصات پرش هیدرولیکی را با استفاده از المان‌هایی خاص در بستر حوضچه آرامش مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که مشخصات پرش هیدرولیکی در المان‌های مورد استفاده نسبت به بستر صاف به مقدار قابل قبولی کاهش می‌یابد. (مینیایی و همکاران، ۱۳۹۶) به بررسی عددی استهلاك انرژی با دبی‌های مختلف در حوضچه آرامش سرریز سد قلعه-چای پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد با افزایش دبی ورودی به حوضچه آرامش، درصد استهلاك انرژی کاهش خواهد یافت، به طوری که استهلاك انرژی جریان برای دبی ورودی بیشتر نسبت به دبی ورودی کمتر کاهش می‌یابد. (بهنام‌طلب و همکاران، ۱۳۹۸) به اصلاح هندسه حوضچه آرامش تیپ ۵ با استفاده از مدل عددی پرداختند. با بررسی‌های صورت گرفته مشخص گردید که با اعمال تغییرات در هندسه حوضچه آرامش، عرض حوضچه قرار گرفته پس از دیوار میانی به تدریج افزایش یافته و نتایج مطلوبی را در پی خواهد داشت. (هوشیاری‌پور و همکاران، ۱۳۹۸) به تاثیر زاویه همگرایی حوضچه آرامش و موقعیت آب‌پایه انتهایی با مدل‌سازی عددی پرداختند. با توجه به نتایج بدست آمده در یک واگرایی مشخص، موقعیت آب‌پایه انتهایی می‌تواند سبب افزایش میزان استهلاك انرژی جریان و کاهش عمق ثانویه و طول پرش باشد. در سد گتوند علیا و سیاه‌بیشه از حوضچه‌های آرامش با آستانه پلکانی استفاده شده است. آزمایش‌های انجام شده حاکی از عملکرد مناسب آستانه پلکانی در حفظ پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه را نشان داد، به طوری که در تمام دبی‌های آزمایش شده، خروج پرش به بیرون از حوضچه آرامش مشاهده نشده است.

مرور پیشینه تحقیقات انجام شده و عملکرد مناسب آستانه انتهایی نشان می‌دهد همواره محققان به دنبال پژوهش‌های جامع‌تری جهت طراحی حوضچه آرامش

آرامش با آستانه انتهایی صورت پذیرفت که در آن ارتباط مناسبی بین پروفیل گودال با پرش هیدرولیکی مشاهده گردید. (Chanson-Chachru, 2011) آزمایش‌های جدیدی را بر روی لایه برشی در حال توسعه در پرش هیدرولیکی انجام دادند. نتایج به دست آمده از تحقیقات آنها نشان داد که پروفیل سرعت در این آزمایش‌ها، شباهت زیادی به پروفیل سرعت جت مماسی دارد. (Fathimoghadam, 2011) با انجام مطالعات آزمایشگاهی، تاثیر ارتفاع آب‌پایه و مکان آن در کاهش طول حوضچه آرامش را بررسی نمودند. نتایج این مطالعات، تاثیر قابل توجه آب‌پایه بلند در اتلاف انرژی در فاصله‌ای کوتاه‌تر را نشان داد. همچنین این محققین طول پرش‌های هیدرولیکی تولید شده را برحسب نسبت ارتفاع آب‌پایه به طول حوضچه، طبقه‌بندی نموده و به عنوان معیار طراحی ساده طول حوضچه آرامش برای یک پرش مشخص پیشنهاد نمودند. (Aleyasin, 2015) با استفاده از مدل فیزیکی و تغییرات سازه‌ای به بررسی میدان جریان و نیز روش‌های اصلاح آن در درون حوضچه آرامش پرداختند. تحقیقات آنها برای حوضچه‌هایی با عدد فرود ورودی بین ۳ تا ۶ انجام شد. آنها در نهایت استفاده از دیوار حفره‌دار بین دیوار میانی و آستانه انتهایی به همراه یک جداکننده بین ابتدای حوضچه و دیوار میانی را پیشنهاد کردند. (Babaali-Shamsai, 2015) به مدل‌سازی پرش هیدرولیکی در حوضچه‌های آرامش با دیواره‌های همگرا پرداختند، نتایج نشان داد در صورت استفاده از بلوک‌های میانی و آب‌پایه انتهایی در حوضچه آرامش، مشخصات هندسی بلوک‌ها در پدیده پرش تاثیرگذار خواهد بود. (Ghoveisi-Omid, 2016) در یک مطالعه آزمایشگاهی پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش واگرا با مقطع دوزنقه را با در نظر گرفتن بلوک‌های میانی به ازای واگرایی‌های مختلف بررسی کرده و بیان کردند با افزایش زاویه واگرایی میزان استهلاك انرژی نیز افزایش می‌یابد. (جعفری و احمدی، ۱۳۹۶) به مطالعه عددی تاثیر شکل و ابعاد بلوک‌های حوضچه آرامش بر میزان استهلاك انرژی پرداختند. نتایج نشان

و طول لازم حوضچه را کوتاهتر می‌نماید. با توجه به موارد ذکر شده، مطالعه جامع سازه حوضچه آرامش با عملکرد موثری که در استهلاک انرژی جریان خروجی دارد سبب اهمیت زیاد این گونه از سازه گردیده است. به طوری که از نظر مهندسی، طول حوضچه آرامش باید موثر و اقتصادی در نظر گرفته شود. در این راستا، شبیه‌سازی سرریز و سازه استهلاک انرژی و بررسی حوضچه با طول‌های مختلف از جمله موضوعات مهم در طراحی این گونه از سازه‌ها به شمار می‌رود.

تئوری جریان در پرش هیدرولیکی

پرش هیدرولیکی، یک جریان متغییر سریع در کانال‌های روباز می‌باشد که تغییر جریان در آن از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی با توجه به مشخصات و موقعیت خاص کانال صورت می‌گیرد. در اثر این پدیده عمق جریان در مسیر نسبتاً کوتاهی به میزان زیاد افزایش می‌یابد و ضمن ایجاد افت انرژی، از میزان سرعت کاسته می‌شود همچنین این پدیده سبب کاهش فشار بالابرنده در زیر سازه‌ها با افزایش عمق آب در دامنه سازه‌ها می‌گردد. تداخل آب و هوا و نوساناتی که در پدیده پرش هیدرولیکی رخ می‌دهد سبب افت انرژی زیادی که شامل انرژی جنبشی آشفتگی و کار انجام شده توسط تنش‌های رینولدز است می‌گردد. به طوری که تغییرات فشار ایجاد شده در محدوده حوضچه آرامش به صورت فشار غیرهیدرواستاتیک می‌باشد.

شبیه‌سازی عددی میدان جریان

بسیاری از جریان‌های موجود در طبیعت از ماهیت و الگوی پیچیده‌ای برخوردار می‌باشند. بر این اساس شبیه‌سازی این جریان‌ها با مشکلات زیادی همراه خواهند بود و نیازمند روش‌های ویژه‌ای جهت تحلیل است. با گذشت زمان، محققان زیادی جهت تحلیل جریان در سازه‌های هیدرولیکی همچون سرریز سدها و حوضچه آرامش به ساخت مدل‌های فیزیکی پرداختند که منجر به صرف هزینه و زمان زیادی شد و از طرفی با توجه به اینکه مدل‌های ساخته شده دارای مقیاسی

بوده‌اند تا به یک طرح اقتصادی و مناسب دست یابند و در این مسیر توجه ویژه‌ای نیز به پارامترهای هیدرولیکی جریان بر روی حوضچه آرامش داشته‌اند. به عبارت دیگر بررسی افزایش طول حوضچه آرامش و یا کاهش آن بدون توجه به بررسی فشارهای وارده بر آب‌پایه انتهایی و دیگر مشخصه‌های جریان نظیر سرعت و انرژی جریان خروجی نمی‌تواند منجر به دستیابی به طرح مناسب حوضچه آرامش گردد. در این پژوهش سعی گردیده به تحلیل استهلاک انرژی جریان تحت اثر اعمال تغییرات در طول حوضچه آرامش و با در نظرگیری پارامترهای هیدرولیکی جریان پرداخته شود. به عبارت دیگر این پژوهش سعی می‌کند کاهش طول حوضچه آرامش را که منجر به کاهش هزینه‌های اجرایی می‌شود با در نظرگیری اثرات این تغییر بر فشار و نیروهای وارده بر آب‌پایه انتهایی و همچنین افزایش طول را مورد مطالعه قرار دهد تا بتواند ارزیابی مناسبی از تغییرات طول حوضچه آرامش ارائه دهد. برای انجام مطالعه مبتنی بر واقعیت و افزایش دامنه کاربرد این پژوهش، از طرح اولیه سیستم تخلیه سیلاب سد چایلی استفاده شده است. پژوهش حاضر در ادامه شامل این بخش‌ها می‌باشد: مواد و روش‌ها، معادلات حاکم بر جریان، صحت‌سنجی مدل‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D، مشخصات سیستم تخلیه سیلاب مورد مطالعه، شبکه محاسباتی و شرایط مرزی در شبیه‌سازی، تحلیل پارامترهای هیدرولیکی جریان، نتایج و بحث و مراجع.

مواد و روش‌ها

حوضچه‌های آرامش می‌توانند دارای اشکال هندسی متفاوت و حاوی ضمامم اضافی نظیر بلوک‌های کف و آستانه انتهایی باشند که به عملکرد موثر آنها کمک می‌کند. در حوضچه‌های آرامش به منظور کاهش طول پرش هیدرولیکی و نگه داشتن پرش ایجاد شده در حوضچه، از بلوک‌ها و موانعی در برابر جریان استفاده می‌شود. وجود چنین موانعی در مقابل جریان باعث جدادگی خطوط جریان و استهلاک بیشتر انرژی و همچنین افزایش تنش برشی و نیز نیروی دراگ می‌شود

معادلات حاکم بر جریان در نرم افزار Flow-3D

معادلات حاکم بر جریان سیالات تراکم ناپذیر لزج، توسط معادلات ناوراستوکس بیان می شوند که شامل معادله بقای جرم یا پیوستگی، معادله مومنتوم و معادله سطح آزاد می باشند.

(الف) معادله بقای جرم یا معادله پیوستگی
معادله پیوستگی جریان با در نظر گرفتن قانون بقای جرم و با نوشتن معادله تعادل جرم برای یک المان سیال به صورت کلی به شکل رابطه (۱) تعریف می شود:

$$V_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial x}(\rho w A_x) + \varepsilon \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR} \quad (1)$$

که در این معادله v_f حجم جزئی سیال، ρ دانسیته سیال و عبارت R_{DIF} و R_{SOR} به ترتیب ترم آشفتگی و منبع جرم می باشد که جهت محاسبه عبارت R_{DIF} در معادله فوق از رابطه (۲) استفاده می شود:

$$R_{DIF} = \frac{\partial (v_{\rho} A_x \frac{\partial p}{\partial x})}{\partial x} + R \frac{\partial (v_{\rho} A_y \frac{\partial p}{\partial y})}{\partial y} + \frac{\partial (v_{\rho} A_z \frac{\partial p}{\partial z})}{\partial z} + \varepsilon \frac{\rho v_{\rho} A_x}{x} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left\{ u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} - \varepsilon \frac{A_y u v}{x V_f} = -\frac{1}{\rho} R \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_f} u \quad (2)$$

در رابطه فوق $v_{\rho} = C_{\rho} \mu / \rho$ است که در آن μ ضریب لزجت (ضریب پخش مومنتوم)، R_{SOR} چگالی و C_{ρ} ضریبی ثابت می باشد.

(ب) معادلات مومنتوم

کوچکتری نسبت به سازه واقعی می باشند، این احتمال که نتوان رفتار واقعی جریان را بر روی این سازه ها با دقت خوبی بررسی کرد وجود دارد و همچنین اعمال دی های طرح بر روی مدل هایی با مقیاس کوچک امکان پذیر نیست. از این رو با پیشرفت نرم افزارهای کامپیوتری در سالیان اخیر، مدل سازی عددی و تحلیل سازه های پیچیده با استفاده از روش های عددی توجه محققان را جلب نموده است. نرم افزار Flow-3D به عنوان یک ابزار نیرومند برای تحلیل مسائل در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی مورد استفاده قرار می گیرد. این نرم افزار جهت تحلیل مسائل پیچیده دینامیک سیالات و مدل سازی جریان بر روی سرریز سدها و سازه استهلاک انرژی آنها و همچنین بررسی نیروهای هیدرو دینامیک جریان وارد بر آن مورد استفاده قرار می گیرد. از طرفی پدیده آشفتگی یکی از مهمترین موضوعات در دینامیک سیالات بوده و فاکتوری موثر در زمان محاسبات مدل های عددی می باشد. برای تحلیل و شبیه سازی جریان آشفته بر روی هندسه های مختلف، مدل های آشفتگی زیادی در نظر گرفته شده است که از جمله آنها می توان به مدل آشفتگی طول اختلاط پرانتل، یک معادله ای انرژی جنبشی آشفتگی، دو معادله ای $k - \varepsilon$ مدل RNG و مدل شبیه سازی گردابه های بزرگ اشاره کرد. بر این اساس در این پژوهش، با استفاده از قابلیت های محیط نرم افزار و روش دینامیک سیالات محاسباتی، مدل سازی عددی سرریز سد چایلی و تحلیل جریان بر روی آن بر پایه روش VOF^۱ انجام پذیرفته است. روش ذکر شده برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می گیرد و عمدتاً منجر به تولید نتایج دقیق خواهد شد. همچنین این نرم افزار از روش FAVOR^۲ که یکی از روش های شبیه سازی سطوح و احجام صلب می باشد، در مرز برخورد سیال با جسم صلب استفاده می کند.

² Fractional Area-Volume Obstacle Representation

¹ Volume of Fluid

Flow-3D مقایسه گردیده است. در این مقایسه از نتایج مولفه سرعت افقی حاصل از مدل‌های آشفتگی $k - \epsilon$ استاندارد و RNG به عنوان گزینه موجود برای صحت‌سنجی استفاده شده است. این آزمایش‌ها در یک فلوم شیشه‌ای به طول ۳/۲ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع دیواره‌های ۰/۴۵ متر صورت پذیرفته است. در ابتدای این فلوم، مخزنی برای تامین هد مورد نیاز پشت دریچه کشویی ساخته شده است. جریان فوق بحرانی پس از عبور از زیر دریچه به صورت افقی وارد حوضچه آرامش شده است. در شبیه‌سازی فوق بعد از تنظیم میزان بازشدگی (عمق اولیه پرش) و دبی لازم برای عدد فرود مورد نظر، کانال و حوضچه با توجه به عمق اولیه هر عدد فرود، ساخته شد و پس از وارد کردن مدل سه بعدی سرریز در قالب فایل stl در نرم‌افزار Flow-3D شرایط مرزی در بالادست به صورت دبی، دیواره‌ها، کف کانال و دریچه‌ها شرط مرزی دیوار، مرز سطح آب به صورت تقارن و در پایین دست نیز تراز سطح آب در مقطع خروجی معادل عمق پایاب اعمال گردیده است. در شکل (۱) هندسه تهیه شده و شرایط مرزی در میدان حل نشان داده شده است. بررسی آزمایش‌های انجام شده برای چهار عدد فرود مطابق جدول (۱) صورت پذیرفته است.



شکل (۱): هندسه مدل و شرایط مرزی مدل‌سازی عددی جهت صحت‌سنجی

معادلات حرکت در جهت‌های مختلف محور مختصات، به شکل معادلات ناویراستوکس با عبارت اضافه مطابق رابطه (۳) تعریف می‌شود:

$$\rho V_F f_x = w s x - \left\{ \frac{\partial (A_x \tau_{xx})}{\partial x} + R \frac{\partial (A_y \tau_{xy})}{\partial y} \right. \quad (3)$$

$$\left. + \frac{\partial (A_z \tau_{xz})}{\partial z} + \frac{\epsilon (A_x \tau_{xx} - A_y \tau_{yy})}{x} \right.$$

که در این رابطه G_y ، f_y و b_y به ترتیب شتاب بدنه، شتاب ناشی از لزجت و افت جریان در محیط‌های متخلخل می‌باشد. عبارت قرار گرفته در سمت راست معادله فوق نشان‌دهنده افزایش جرم در سرعت صفر می‌باشد.

ج) معادله پروفیل سطح آزاد

پروفیل سطح آزاد با استفاده از تابع حجم سیال VOF، یعنی $F(x,y,z)$ تخمین زده می‌شود. این تابع مقدار حجم سیال را در سلول محاسباتی نشان می‌دهد که به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} (F A_x u) + \frac{\partial}{\partial y} (F A_y v) \right. \quad (4)$$

$$\left. + \frac{\partial}{\partial z} (F A_z w) \right] = 0$$

که در رابطه فوق u, v, w متوسط سرعت در جهت‌های x, y, z و A متوسط نسبت مساحت جریان در جهت‌های x, y, z و F تابع نسبت سیال که مقادیر بین ۰ و ۱ دارد. در صورتی که فضای سلول‌های شبکه‌بندی شده توسط سیال پر شود مقادیر F برابر ۱ و در صورت عدم وجود سیال برابر صفر می‌باشد.

صحت‌سنجی مدل‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D

در این پژوهش، به منظور صحت‌سنجی مدل عددی، با نتایج آزمایشگاهی چانسون و چاچرو که در دانشگاه کوپنسلند استرالیا انجام پذیرفت، استفاده گردید و با نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط نرم‌افزار

تعداد ایستگاه‌های در نظر گرفته شده می‌باشد. در رابطه (۷) نیز $Cov(y_i^*, y_i)$ و $\sigma_{y_i^*} \sigma_{y_i}$ ، به ترتیب کوواریانس عمق جریان در مدل عددی و نتایج گزارش و انحراف معیارهای آن‌ها می‌باشد. نتایج حاصله نشان‌دهنده کاهش میزان خطا و مقادیر شاخص‌های ارزیابی می‌باشد.

جدول (۲): درصد خطای مربوط به شبکه‌بندی مختلف

Mesh 3	Mesh 2	Mesh 1	Mesh No
۲۶۶	۲۱۱	۱۶۷	Number of cells in X direction
۹۱	۷۲	۵۷	Number of cells in Y direction
۶۶	۵۳	۴۲	Number of cells in Z direction
۰/۰۶۹	۰/۰۸۵	۰/۰۹۶	MAE %
۰/۱۱۹	۰/۱۲۶	۰/۱۳۲	RMSE %
۰/۹۷	۰/۹۶	۰/۵۷	R ² %

نتایج حاصل از مدل‌سازی در نرم‌افزار Flow-3D نشان می‌دهد که جریان ایجاد شده در بالادست کانال، به صورت یک جت نوسانی به داخل جریان در پایین-دست نفوذ می‌کند که سبب ایجاد سطح موجی نامنظم بر روی جریان و انحنای شدید خطوط جریان در ناحیه پرش می‌گردد. به طوری که تغییرات فشار در این ناحیه به صورت فشار غیرهیدرواستاتیک می‌باشد. همچنین به علت وجود گردابه‌هایی که در ناحیه پرش ایجاد شده است، سرعت افقی در این ناحیه به صورت منفی قابل مشاهده است.

در ادامه به منظور بررسی نتایج حاصل از نرم‌افزار با نتایج آزمایشگاهی چانسون و چاچرو، هندسه سازه مورد نظر با دو روش مدل آشفتگی $k - \epsilon$ استاندارد و مدل RNG تحلیل، و پارامتر سرعت افقی جریان اندازه‌گیری گردید. نتایج بدست آمده از پروفیل سرعت در ابتدای پرش مطابق شکل‌های (۲) الی (۵) ارائه گردیده است. از تصاویر خروجی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی می‌توان نتیجه گرفت که با توجه به رفتار غیردائمی جریان در ناحیه پرش، پروفیل‌های سرعت ایجاد شده در لبه بالایی جریان دارای پراکندگی

جدول (۱): داده‌های آزمایشگاهی تحقیق چانسون و چاچرو (۲۰۱۱)

Q (m ³ /s)	Fr ₁	(m)d ₁	NO
۰/۰۶۲۷	۵/۱۰	۰/۰۳۹۵	۱
۰/۰۵۴۵	۴/۴۳	۰/۰۳۹۵	۲
۰/۰۴۹۰	۳/۸۴	۰/۰۴۰۵	۳
۰/۰۴۴۶	۳/۰۸	۰/۰۴۴۱	۴

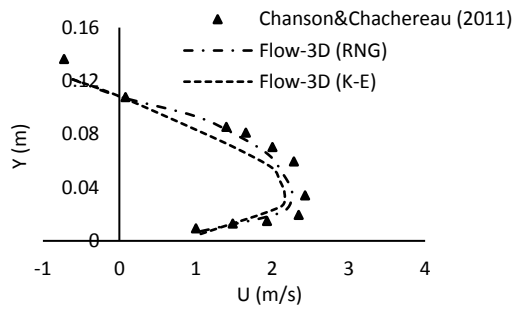
جهت تسریع در حل عددی مدل، قسمت‌هایی از هندسه که از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشند، شبکه‌بندی گردیده است که این حالت سبب کاهش تعداد شبکه‌های محاسباتی شده و سرعت محاسبات را بالا خواهد برد. بنابراین با انجام حساسیت شبکه‌بندی، یک شبکه بهینه جهت تحلیل و بررسی مدل مذکور در نظر گرفته شده است. برای این منظور مدل شماره (۱) مطابق جدول شماره (۱) با شبکه‌بندی متفاوت، که مشخصات آن در جدول شماره (۲) آورده شده است شبیه‌سازی گردید. همانطور که مشاهده می‌شود حالت Mesh 3 دارای کمترین میزان خطا منحنی سطح آب می‌باشد، بررسی خطای ایجاد شده بین مقادیر به دست آمده حاصل از شبکه‌بندی مختلف برای مدل عددی و آزمایشگاهی با استفاده از روابط میانگین مطلق خطا MAE، جذر میانگین مربعات خطا RMSE و ضریب همبستگی R² مطابق روابط (۵)، (۶) و (۷) صورت پذیرفته است.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |y_i^* - y_i| \quad (5)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum (y_i^* - y_i)^2 \right]^{0.5} \quad (6)$$

$$R^2 = \frac{cov(y_i^*, y_i)}{\sigma_{y_i^*} \sigma_{y_i}} \quad (7)$$

که در روابط (۵) و (۶) y_i^* ، تراز سطح آب در مدل عددی، y_i ، تراز سطح آب در نتایج آزمایشگاهی و n

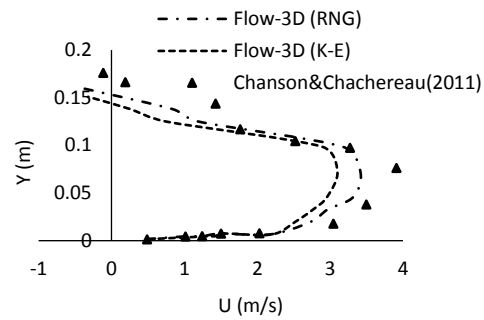


شکل (۵): مقایسه پروفیل سرعت (m/s) برای مدل چهارم

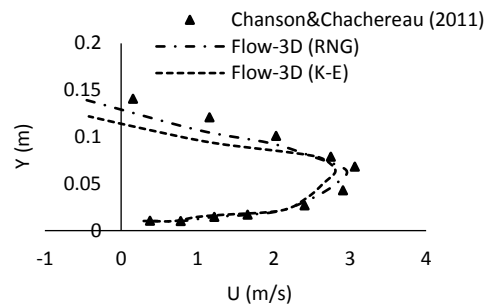
مشخصات سیستم تخلیه سیلاب مورد مطالعه

در پژوهش حاضر، طرح اولیه سرریز سد چایلی که بر روی رودخانه اترک در ۱۵۷ کیلومتری شمال شرق گرگان ساخته شده است، در نظر گرفته می شود. در این طرح نوع سد خاکی بوده که به ارتفاع ۶۶ متر از بستر سنگی و ۶۸/۵ متر از پی در نظر گرفته شده است. سرریز این سد از نوع اوجی است که دارای پنج دهانه می باشد. این سیستم تخلیه سیلاب، جریان را از طریق کانال تقرب، اوجی و شوت با زاویه ۰/۲۲ درجه به پایین دست و حوضچه آرامش منتقل می کند. سیلاب وارده به مخزن سد چایلی توسط سرریز اوجی با تراز تاج ۱۸۷/۵ متر از سطح دریا وارد تندآب می شود و پس از آن جهت استهلاک انرژی جریان، وارد حوضچه آرامش انتهایی تندآب به طول ۷۵ متر و تراز ۱۴۰/۴۰ متر خواهد شد و در آخر وارد کانال خروجی پایین دست می گردد. پروفیل جزئیات سرریز اوجی سد چایلی مطابق شکل (۶) می باشد. لازم به ذکر است که شبیه سازی فوق برای سیلاب های ۱۰۰۰ ساله، ۱۰۰۰۰ ساله و PMF انجام شده است و شرایط مرزی در بالادست، مطابق جدول (۳) ارائه شده است.

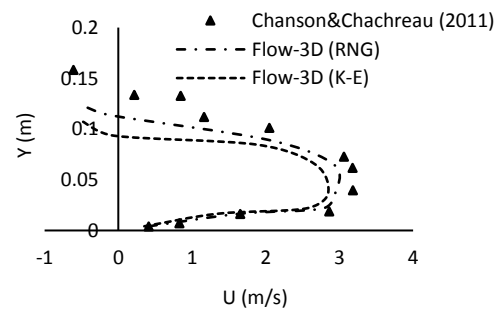
بیشتری می باشد. بنابراین با توجه به نتایج سرعت، مشخص شده است که مدل آشفتگی RNG دارای نتایج دقیق نسبت به مدل $k - \epsilon$ استاندارد است.



شکل (۲): مقایسه پروفیل سرعت (m/s) برای مدل اول

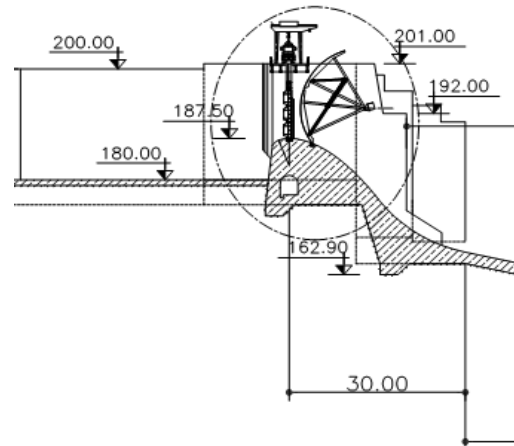


شکل (۳): مقایسه پروفیل سرعت (m/s) برای مدل دوم



شکل (۴): مقایسه پروفیل سرعت (m/s) برای مدل سوم

خطاهای ناشی از مش‌بندی و دقت بالا در حل مسئله، نسبت اندازه سلول‌های مجاور در سه بعد مختصاتی شبکه مش رعایت گردد و تا حد امکان به مقدار یک نزدیک باشد. مقدار این پارامترها نیز طبق دستورالعمل نرم‌افزار باید برای هر سه نسبت $X-Z$ ، $Y-Z$ و $X-Y$ کمتر از ۳ باشد. بنابراین با انجام حساسیت شبکه‌بندی، یک شبکه بهینه برای تحلیل و بررسی مدل مذکور در نظر گرفته شد. برای این منظور هندسه سرریز سد چایلی با شبکه‌بندی متفاوت و دبی طراحی شبیه‌سازی گردید و عمق جریان در انتهای شوت و در محل برخورد جریان با حوضچه آرامش تحلیل گردیده است. با توجه به شکل (۷) با افزایش تعداد سلول‌ها و کوچک شدن ابعاد آنها، مقادیر متوسط عمق جریان در انتهای شوت دارای نوسانات کمتری می‌باشد و همچنین خطای ایجاد شده بین مقادیر به دست آمده حاصل از شبکه بندی مختلف کاهش یافته است. قابل ذکر است که مدت زمان شبیه‌سازی برای راستی آزمایی ۸۰ ثانیه در نظر گرفته شده است که در این زمان جریان به پایداری رسیده است. نرم‌افزار حاضر که از آن جهت تحلیل جریان بر روی سازه مورد نظر استفاده می‌شود دارای ۱۰ نوع شرط مرزی بر روی وجه‌های شبکه حل می‌باشد. بر این اساس شرایط مرزی در نظر گرفته شده در پژوهش حاضر به صورت شرط مرزی ورودی VFR ، در بالادست شبکه حل با توجه به معین بودن میزان دبی به عنوان شرط مرزی ورودی، در پایین‌دست با بدست آوردن عمق پایاب از شرط مرزی فشار خروجی P ، با توجه به صفر بودن سرعت جریان سیال بر روی مرزهای جامد، شرط مرزی دیوار W ، و در مرزهای بین بلوک‌ها و مرز فوقانی شرط مرزی تقارن S ، و همچنین در مرز سطح آزاد هم با توجه به تماس مستقیم با هوا از شرط مرزی تقارن استفاده شده است. شکل (۸) شرایط مرزی در نظر گرفته شده در مدل سرریز سد چایلی در محیط نرم‌افزار $Flow-3D$ نشان داده شده است.



شکل (۶): جزییات سرریز اوجی سد چایلی

جدول (۳): شرایط مرزی بالادست حوضچه آرامش سد

چایلی	
آبگذری (m^3/s)	دوره بازگشت (سال)
۲۶۸۹	۱۰۰۰
۳۶۰۶	۱۰۰۰۰
۷۴۵۰	PMF

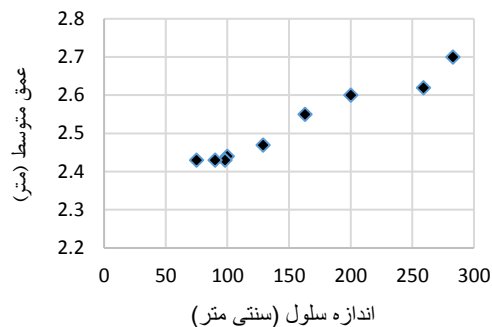
شبکه محاسباتی و شرایط مرزی در شبیه‌سازی

در این پژوهش جهت مدل‌سازی عددی، سیستم تخلیه سیلاب مرجع با طول ۲۷۱ متر و عرض ۹۳/۵ متر از ابتدا تا انتهای سرریز در نظر گرفته شده است. همچنین برای استهلاک انرژی جریان در انتهای شوت از حوضچه آرامش به طول ۷۵ متر و آب‌پایه انتهایی به ارتفاع ۷/۲ متر و طول ۷ متر با سه پله استفاده شده است. به منظور تحلیل جریان و بررسی استهلاک انرژی، هندسه سرریز مورد نظر با تغییر در طول حوضچه آرامش به ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ متر در محیط نرم‌افزار اتوکد سه بعدی ساخته شد و به صورت فایل stl در محیط نرم‌افزار $Flow-3D$ فراخوانی شده است. همچنین مدل‌سازی آشفتگی با روش RNG شرایط جریان را به خوبی مدل‌سازی می‌نماید لذا در این پژوهش از این روش استفاده می‌گردد. جهت همگرا شدن جریان بر روی سرریز از سه بلوک مش‌بندی با شبکه مش مکعبی شکل استفاده شده است. به طوری که در هنگام ایجاد شبکه محاسباتی تلاش شده است برای کاهش

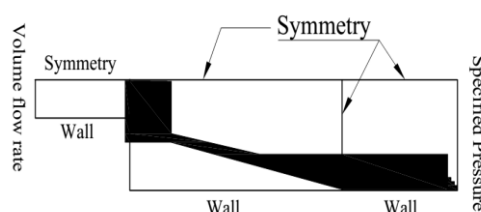
آنها به ازای مقادیر مختلف طول حوضچه آرامش و دبی- های مطرح شده مورد ارزیابی قرار گرفته است.

تحلیل تغییرات سطح آب در حوضچه آرامش

در طول حوضچه آرامش شاهد تلاطم و آشفتگی‌هایی ناشی از پرش هیدرولیکی در مسیر جریان خواهیم بود، به طوری که این آشفتگی‌ها سبب ایجاد نوسانات در عمق و در مقاطع طولی حوضچه آرامش و همچنین سطح آب بر روی آستانه انتهایی شده است. در بررسی پروفیل سطح آب، تغییرات عمق جریان بر حسب متر در ایستگاه‌های مورد نظر از محدوده انتهایی شوت در فاصله ۱/۰۲ متری از ابتدای حوضچه آرامش که محل شروع پرش هیدرولیکی می‌باشد تا انتها حوضچه آرامش بررسی گردید. در بررسی‌ها مبدا مختصات در محور ابتدایی حوضچه آرامش برای طول‌های مختلف لحاظ شده است. با توجه به نتایج، پروفیل سطح آب از یک عمق کم در انتهای شوت که عمق اولیه پرش می‌باشد شروع شده و به تدریج افزایش می‌یابد و به یک عمق بیشتر در حوضچه آرامش، که عمق ثانویه پرش می‌باشد میل می‌کند. نتایج شبیه‌سازی مطابق شکل شماره (۹) الی (۱۱) ارائه شده است. جریان تشکیل شده در انتهای شوت به صورت فوق بحرانی و با اعداد فرود بالا وارد حوضچه آرامش می‌گردد و در صورت عملکرد مناسب حوضچه، پس از استهلاك انرژی جریان توسط پرش هیدرولیکی، با سرعت کمتر و به صورت زیر بحرانی از حوضچه آرامش خارج می‌شود. با توجه به شکل، در قسمت الف با افزایش طول حوضچه آرامش از ۷۵ متر به ۹۰ متر و ۱۲۰ متر، پرش هیدرولیکی در درون حوضچه آرامش به صورت کامل ایجاد شده که با تلاطم و آشفتگی زیاد جریان همراه است. بر این اساس عمق جریان در درون حوضچه روند افزایشی خواهد داشت و این اختلاف عمق جریان در انتهای پرش به علت کاهش تلاطم جریان کاهش خواهد یافت و در نزدیکی آب‌پایه انتهایی محسوس می‌باشد که علت آن ایجاد کامل پدیده پرش هیدرولیکی در درون حوضچه آرامش است. در قسمت ب از شکل با کاهش طول حوضچه آرامش به



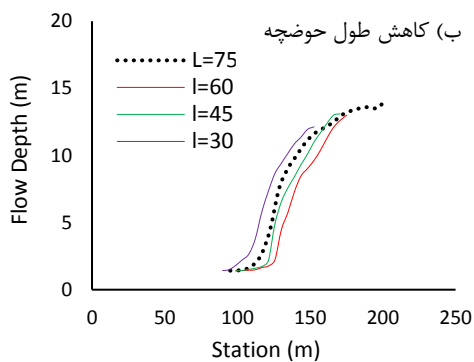
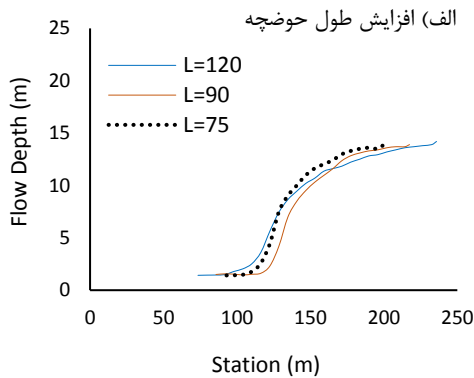
شکل (۷): استقلال از شبکه سرریز سد چایلی



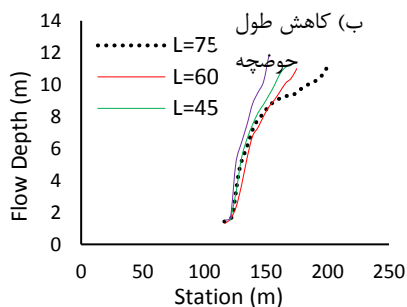
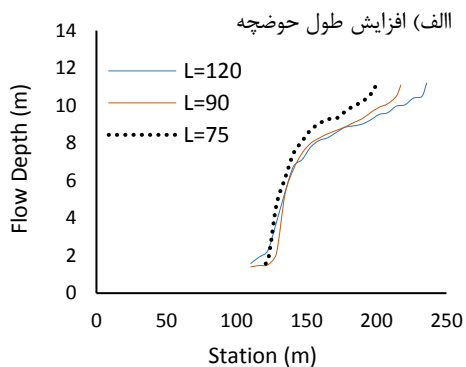
شکل (۸): بلوک‌ها و شرایط مرزی سرریز سد چایلی

تحلیل پارامترهای هیدرولیکی جریان

از اهداف اصلی این پژوهش، ارزیابی عملکرد تغییر طول حوضچه آرامش بر میزان استهلاك انرژی جریان و فشار وارده بر آب‌پایه انتهایی حوضچه آرامش می‌باشد. در این راستا به منظور اطمینان بیشتر از عملکرد حوضچه آرامش و آب‌پایه قرار گرفته در انتهای آن، با تغییر طول حوضچه به مقادیر ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ متر، شبیه‌سازی سرریز سد چایلی در نرم‌افزار Flow-3D صورت پذیرفته است. در کلیه حالت‌های شبیه‌سازی به منظور دستیابی به نتایج دقیق‌تر، مش‌بندی بلوک شماره سه مربوط به حوضچه آرامش تا ۶۰ سانتی‌متر در راستای طول، عرض و ارتفاع ریزتر انتخاب گردید. بر این اساس مقادیر مربوط به مشخصه‌های عمق جریان، پروفیل سرعت و فشار ایجاد شده در کف حوضچه آرامش با طول‌های مختلف به ازای مقدار پارامتر دبی‌های در نظر گرفته شده مطابق جدول (۳) مورد بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که مقادیر فشار و نیرو وارده بر وجه قائم آب‌پایه انتهایی و همچنین انرژی باقی‌مانده در پایین‌دست حوضچه آرامش برآورد گردید و تغییرات

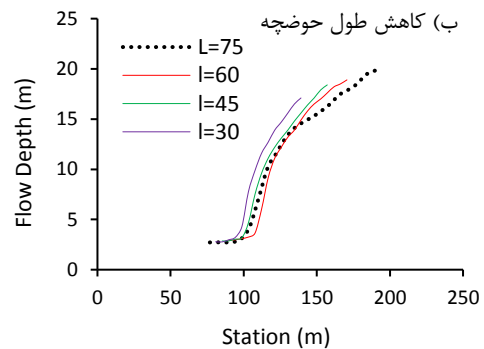
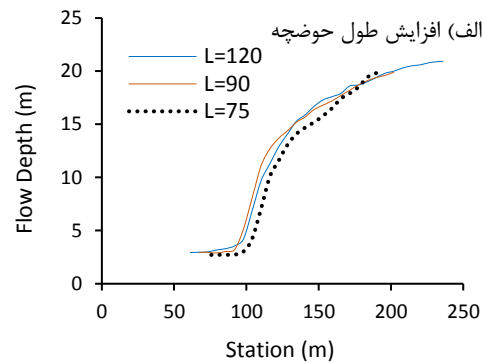


شکل (۱۰): تغییرات سطح آب به ازای افزایش و کاهش طول حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰۰ ساله



شکل (۱۱): تغییرات سطح آب به ازای افزایش و کاهش طول حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰ ساله

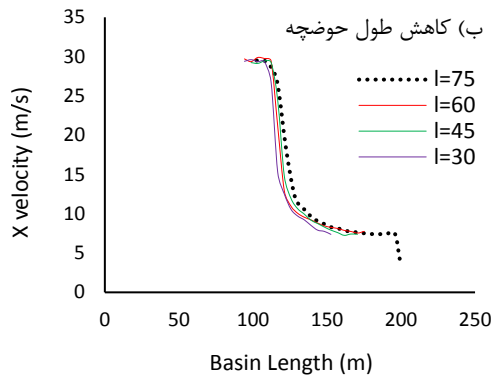
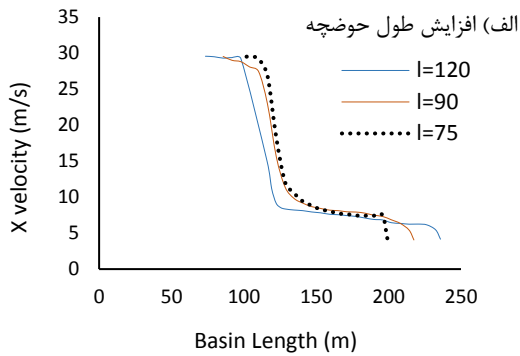
۶۰ متر، ۴۵ متر و ۳۰ متر، ایجاد پرش هیدرولیکی در درون حوضچه به صورت کامل رخ نخواهد داد که این امر سبب می‌شود عمق جریان در انتهای حوضچه به عمق ثانویه مورد نظر نزدیک نشود. بر این اساس تغییرات عمق جریان در دبی طراحی از حوضچه آرامش به طول ۳۰ متر تا حوضچه آرامش مرجع به طول ۷۵ متر شدید می‌باشد و در این طول به عمق ثانویه پرش برابر ۱۹/۸۲ متر می‌رسد. با افزایش طول حوضچه آرامش به مقادیر بیشتر، تغییرات عمق جریان در حوضچه آرامش به طول ۱۲۰، ۹۰ و ۷۵ متر نسبت به طول‌های دیگر دارای شدت کمتری بوده و جریان بر روی آب‌پایه عمق بیشتری دارد که برابر عمق ثانویه پرش برابر ۱۹/۸ متر است.



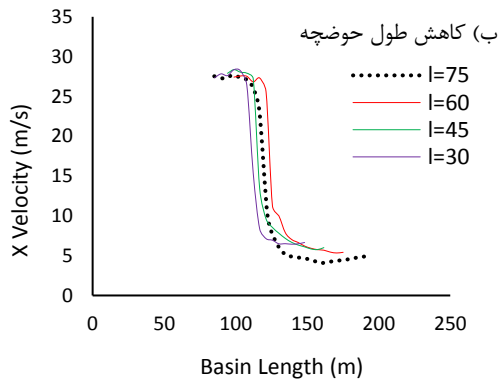
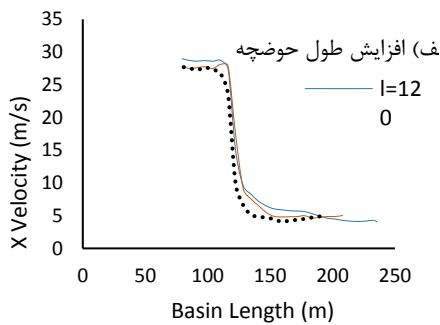
شکل (۹): تغییرات سطح آب به ازای افزایش و کاهش طول حوضچه آرامش و دبی PMF

تحلیل تغییرات پروفیل سرعت

با توجه به شرایط مرزی و اولیه در نظر گرفته شده برای مدل عددی، شبیه‌سازی جریان بر روی سرریز شوت و حوضچه آرامش و تحلیل جریان تا رسیدن به شرایط پایدار و دائم انجام پذیرفت. شکل (۱۲) الی (۱۴) تغییرات سرعت جریان در درون حوضچه آرامش برای طول‌های مختلف حوضچه و دبی‌های در نظر گرفته را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با نزدیک شدن جریان به قسمت انتهایی حوضچه آرامش و در نزدیکی آب‌پایه انتهایی با توجه به ایجاد پرش هیدرولیکی، جریان در این نواحی به حالت آرام رسیده و خطوط جریان تقریباً به حالت موازی و در یک جهت می‌باشند، که این امر سبب شده است تا سرعت جریان در انتهای حوضچه به یکدیگر نزدیک و دارای نوسانات کمتری باشد. در قسمت الف از شکل، با افزایش طول حوضچه آرامش از مدل مرجع به طول ۷۵ متر به حوضچه با طول ۹۰ و ۱۲۰ متر به دلیل وجود جریان-های چرخشی در سطح آب، مقادیر سرعت در این نواحی روند کاهشی خواهد داشت. با اندازه‌گیری سرعت جریان در مقاطع مختلف حوضچه، سرعت جریان قبل و بعد از پرش برای دبی طراحی به ترتیب برابر ۲۹ و ۴ متر بر ثانیه، دبی ۱۰۰۰۰ ساله برابر ۲۷ و ۴ متر بر ثانیه و دبی ۱۰۰۰ ساله برابر ۲۶ و ۳ متر بر ثانیه خواهد بود. در قسمت ب از شکل با کاهش طول حوضچه آرامش به ۶۰ متر، ۴۵ متر و ۳۰ متر، ایجاد پرش هیدرولیکی در درون حوضچه به صورت کامل رخ نخواهد داد که این امر سبب می‌شود سرعت جریان در انتهای پرش تغییراتی بین ۵ الی ۷ متر بر ثانیه داشته باشد و مقادیر سرعت نسبت به مدل مرجع با طول ۷۵ متر افزایش یابد. تغییرات سرعت جریان در حوضچه آرامش با طول بیشتر نسبت به طول‌های دیگر کمتر بوده و جریان خروجی با سرعت کمتر و عمق بیشتر بر روی آب‌پایه موجب پتانسیل فرسایش کمتر جریان خروجی از حوضچه با این طول نسبت به دیگر حوضچه‌ها می‌شود.

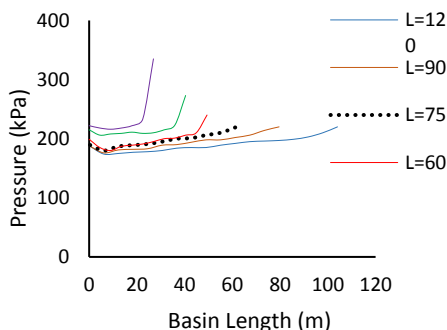


شکل (۱۲): تغییرات سرعت به ازای افزایش و کاهش طول حوضچه آرامش و دبی PMF

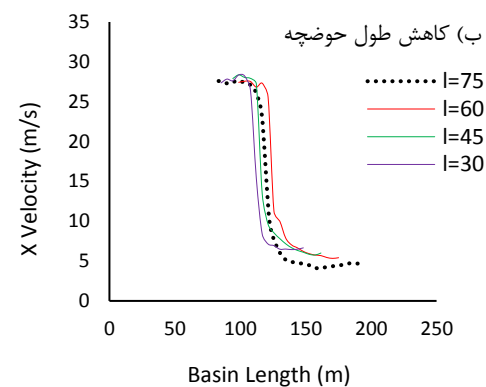
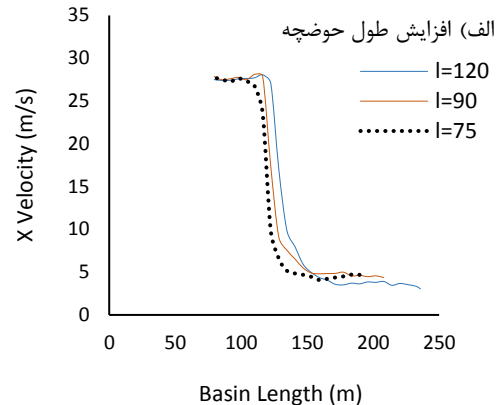


شکل (۱۳): تغییرات سرعت به ازای افزایش و کاهش طول حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰۰ ساله

هیدرولیکی است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که اندکی قبل از آب‌پایه فشار یک افزایش ناگهانی را تجربه می‌کند که دلیل آن تبدیل فشار در این ناحیه از حالت هیدرودینامیک به هیدرواستاتیک است. در بررسی‌های صورت گرفته با اعمال تغییرات در طول حوضچه در ابتدا با کاهش طول، تغییرات فشار در کف حوضچه زیاد و شدید می‌باشد به طوری که این مقادیر فشار در کف و نزدیک آب‌پایه برای طول‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ متر در دبی طراحی به ترتیب برابر ۳۳۵، ۲۷۳، ۲۴۰ و ۲۱۹ کیلوپاسکال، دبی ۱۰۰۰۰ ساله به ترتیب برابر ۱۶۷، ۱۵۹، ۱۵۶ و ۱۴۱ کیلوپاسکال و دبی ۱۰۰۰ ساله به ترتیب برابر ۱۴۸، ۱۴۶، ۱۱۹ و ۱۰۶ کیلوپاسکال می‌باشد. با افزایش طول حوضچه از مدل مرجع با طول ۷۵ متر به ۹۰ متر و ۱۲۰ متر شاهد تغییرات کمی در فشار در کف حوضچه آرامش خواهیم بود. به طوری که مقدار فشار ایجاد شده در کف حوضچه و نزدیک به آب‌پایه برای طول ۹۰ متر و ۱۲۰ متر ۰/۴ الی ۱ درصد نسبت به مدل مرجع با طول ۷۵ متر کاهش داشته است. مطابق با شکل با افزایش دبی ورودی جریان به درون حوضچه آرامش، شاهد افزایش فشار در کف حوضچه خواهیم بود. به طوری که فشار جریان در کف در ابتدای آب‌پایه برای دبی ورودی بیشتر، طراحی، نسبت به دبی ورودی کمتر، ۱۰۰۰۰ ساله، برای طول ۱۲۰ متر حدود ۳۵ درصد افزایش می‌یابد. این اختلاف برای دبی ۱۰۰۰ ساله برابر ۵۰ درصد می‌باشد.



شکل (۱۵): تغییرات فشار برای طول‌های مختلف حوضچه آرامش و دبی PMF

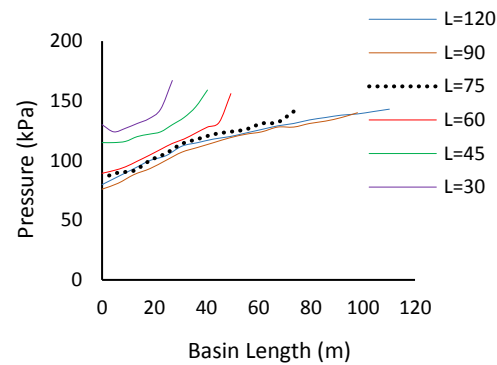


شکل (۱۴): تغییرات سرعت به ازای افزایش و کاهش طول حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰ ساله

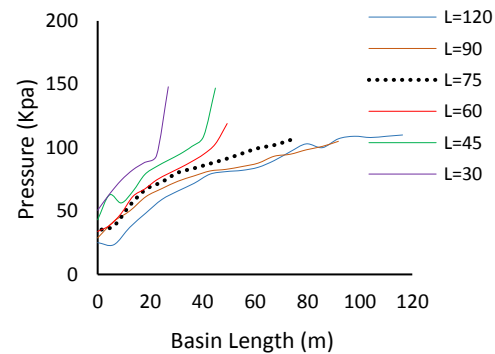
تحلیل تغییرات فشار در کف حوضچه آرامش

نوسانات فشار از عوامل مخرب در حوضچه آرامش و سازه‌های پایین‌دست به شمار می‌آید. بررسی فشار و تغییرات آن در کف حوضچه آرامش با طول‌های مختلف و دبی‌های در نظر گرفته شده در شکل (۱۵) الی (۱۷) نشان داده شده است. با توجه به شکل، به دلیل آشفتگی و انحنای جریان و با نزدیک شدن جریان به انتهای حوضچه آرامش و پایان پرش هیدرولیکی، توزیع فشار در این ناحیه به صورت فشار غیرهیدرواستاتیکی ایجاد شده است. علاوه بر این به دلیل کاهش تلاطم جریان و نزدیک شدن جریان به حالت پایدار، شاهد روند کاهش فشار در طول حوضچه آرامش و در کف آن می‌باشیم. به طوری که در انتهای حوضچه آرامش و قبل از آب‌پایه انتهایی جریان چرخشی ناشی از پرش هیدرولیکی ایجاد می‌شود که نماینگر شرایط غلطش جریان در پرش

مخصوص $E_1 - E_2$ قبل و بعد از پرش تعریف شده است. شکل‌های شماره (۱۸) الی (۲۰) اتلاف انرژی نسبی برابر $100 \cdot \frac{E_1 - E_2}{E_1}$ برای مقادیر مختلف طول حوضچه آرامش و دبی در نظر گرفته شده، بر روی آب‌پایه انتهایی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با توجه به افزایش طول حوضچه آرامش، انرژی باقی‌مانده جریان بر روی آب‌پایه کاهش و میزان استهلاک انرژی جریان در درون حوضچه روند افزایشی خواهد داشت. به طوری که در حوضچه آرامش به طول‌های ۱۲۰ متر، ۹۰ متر و ۷۵ متر کمترین انرژی جریان باقی‌مانده بر روی آب‌پایه قابل مشاهده است. اثر تغییر طول حوضچه بر شرایط جریان خروجی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش طول حوضچه آرامش به ۹۰ متر و ۱۲۰ متر نسبت به مدل مرجع، نتایج خوبی را به همراه داشته است. به طوری که میزان انرژی جریان باقی‌مانده در حوضچه آرامش برای دبی طراحی به ترتیب برابر $23/4$ و $22/9$ می‌باشد که نسبت به انرژی جریان باقی‌مانده در مدل مرجع با طول ۷۵ متر که برابر $23/8$ است حدود $1/68$ و $3/78$ درصد انرژی بیشتری کاهش خواهد داشت. این نسبت اختلاف انرژی بر روی آب‌پایه برای دبی‌های ۱۰۰۰۰ ساله و ۱۰۰۰ ساله به ترتیب برابر $4/30$ و $3/52$ درصد، و $1/27$ و $1/21$ درصد می‌باشد. در حالی که با کاهش طول حوضچه آرامش میزان استهلاک انرژی جریان در درون حوضچه روند کاهشی خواهد داشت. به طوری که مقادیر آن بر روی آب‌پایه برای طول‌های ۶۰ متر، ۴۵ متر و ۳۰ متر در دبی طراحی به ترتیب $10/6$ ، $14/1$ و $15/5$ درصد و دبی ۱۰۰۰۰ ساله برابر $5/7$ ، $7/3$ و $13/9$ درصد و دبی ۱۰۰۰ ساله برابر $3/2$ ، $6/1$ و $7/5$ درصد کاهش داشته است. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت حوضچه آرامش با طول بیشتر عملکرد بهتری در استهلاک انرژی نسبت به کاهش طول خواهد داشت و اثر تغییر طول حوضچه به عنوان یک پارامتر، بیشتر ملاحظه می‌شود. از آنجایی که تاثیر افزایش طول حوضچه آرامش از ۷۵ متر به ۹۰ متر و ۱۲۰ متر بر کاهش انرژی، محسوس می‌باشد به طوری که روند



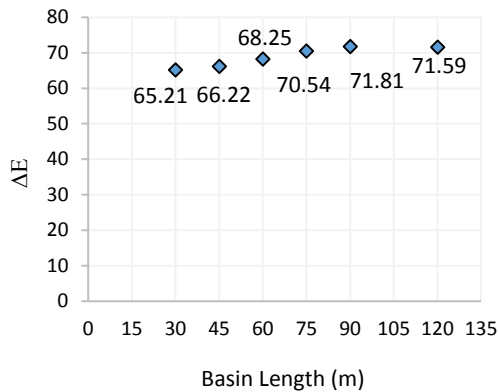
شکل (۱۶): تغییرات فشار برای طول‌های مختلف حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰۰ ساله



شکل (۱۷): تغییرات فشار برای طول‌های مختلف حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰ ساله

تحلیل انرژی جریان باقی‌مانده بر روی آب‌پایه

با اعمال تغییرات ایجاد شده در ساختار حوضچه آرامش و قرارگیری آب‌پایه انتهایی می‌توان به طور مستقیم بر میزان انرژی جریان تاثیر گذاشت. در مقایسه عملکرد حوضچه‌های آرامش با طول‌های متفاوت می‌توان با بررسی انرژی جریان باقی‌مانده در حوضچه، میزان کارایی و انرژی در طول حوضچه را بررسی و نسبت به برتری هر یک از حوضچه‌ها نظر مناسب داد. همانطور که مشخص است، با افزایش طول حوضچه آرامش، ایجاد پرش هیدرولیکی به صورت کامل اتفاق خواهد افتاد که این امر سبب اتلاف انرژی بیشتری در درون حوضچه آرامش می‌شود. در این پژوهش، اتلاف انرژی در پرش هیدرولیکی به صورت اختلاف انرژی

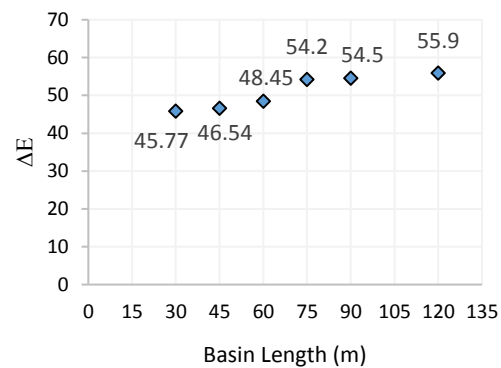


شکل (۲۰): اتلاف انرژی در حوضچه با طول‌های مختلف و دبی ۱۰۰۰ ساله

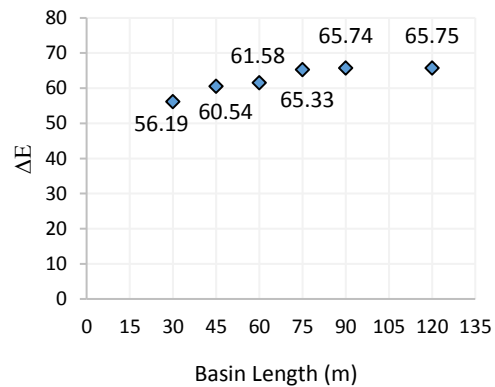
تحلیل فشار و نیروی وارد بر دیوار قائم آب‌پایه

شکل شماره (۲۱) الی (۲۶) نتایج فشار وارد بر دیوار قائم آب‌پایه که در مدل عددی با ایجاد تغییرات در طول حوضچه آرامش مقایسه شده است را برای دبی‌های مورد نظر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود فشار وارد بر بدنه آب‌پایه با افزایش ارتفاع آب‌پایه کاهش می‌یابد. این مقادیر فشار در کف حوضچه بیشترین و در ارتفاع آب‌پایه روند کاهشی خواهد داشت. در تمام حالت نوع حوضچه، بیشترین مقدار فشار در کف حوضچه آرامش اتفاق می‌افتد که به دلیل برخورد مستقیم جریان ورودی از تندآب به کف حوضچه در این ناحیه و تشکیل گردابه‌های جریان، به صورت چرخشی در کف حوضچه ایجاد می‌شود. بلافاصله بعد از این افزایش فشار در فاصله یک سوم انتهایی آب‌پایه، مقدار فشار کاهش یافته که علت این پدیده نیز تغییر جهت جریان از کف به سمت بالا می‌باشد و در نتیجه سبب کاهش فشار وارده در این ناحیه می‌گردد که نتیجه آن اعمال نیروی قابل توجه به آب‌پایه است. به طوریکه با افزایش طول حوضچه آرامش، درصد اختلاف بین فشار حاصل از مدل عددی نسبت به مدل مرجع کاهش یافته است. این افزایش طول حوضچه از ۷۵ متر به ۹۰ متر سبب ۲/۷ درصد و به طول ۱۲۰ متر سبب ۲/۳ درصد کاهش فشار در کف حوضچه آرامش برای دبی طراحی شده است. برای سایر دبی‌ها پارامتر فشار تغییر جزئی داشته است. با کاهش طول حوضچه آرامش به طول‌های ۶۰ متر، ۴۵

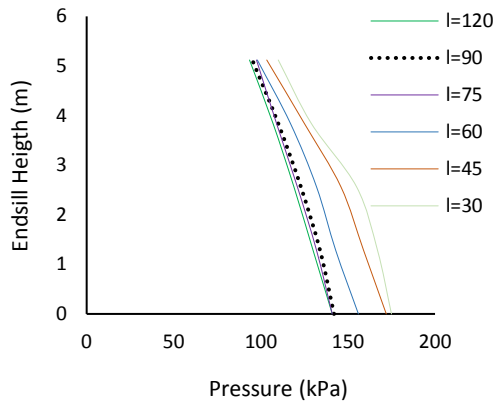
مشخصی را دنبال خواهد کرد و نتایج حاصله به هم نزدیک می‌باشد. بنابراین می‌توان جهت کاهش هزینه‌ها و صرف زمان برای طراحی و ساخت حوضچه آرامش با طول بیشتر، از عملکرد حوضچه آرامش مرجع با طول ۷۵ متر استفاده نمود و به عنوان بهینه‌ترین حالت انتخاب گردد.



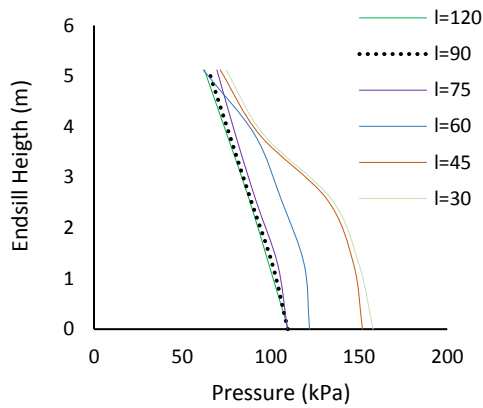
شکل (۱۸): اتلاف انرژی در حوضچه با طول‌های مختلف و دبی PMF



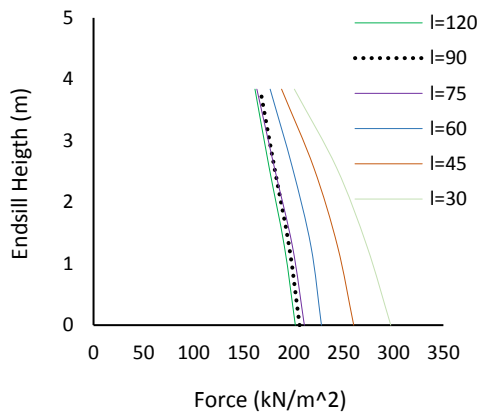
شکل (۱۹): اتلاف انرژی در حوضچه با طول‌های مختلف و دبی ۱۰۰۰۰ ساله



شکل (۲۲): تغییرات فشار در ارتفاع آب پایه برای دبی ۱۰۰۰۰ ساله

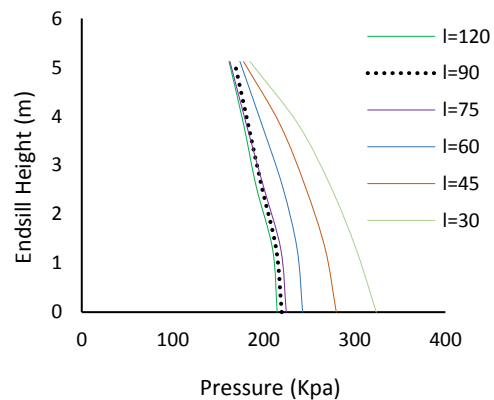


شکل (۲۳): تغییرات فشار در ارتفاع آب پایه برای دبی ۱۰۰۰ ساله



شکل (۲۴): تغییرات نیرو در ارتفاع آب پایه برای طول-های مختلف حوضچه آرامش و دبی PMF

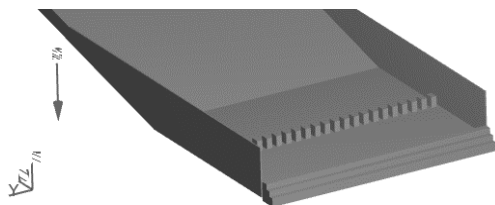
متر و ۳۰ متر مقادیر فشار در کف برای دبی طراحی به ترتیب ۷/۴۰، ۱۳/۲۱ و ۱۳/۵۸ درصد افزایش داشته است. یکی دیگر از پارامترهای حاصل از نتایج فشار در مدل عددی، نیرو است. مطابق با شکل (۲۴) با افزایش طول حوضچه آرامش از ۷۵ متر به ۹۰ متر و ۱۲۰ متر تغییرات فشار قابل ملاحظه‌ای وجود ندارد که این امر سبب کاهش نیروی وارده بر وجه قائم آب پایه برابر ۵/۶۳ و ۳/۴۵ درصد می‌گردد. به طوریکه باعث شده حجم آب پایه ساخته شده در پایین دست حوضچه آرامش کمتر شود و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در حالی که با کاهش طول حوضچه به ۶۰ متر، ۴۵ متر و ۳۰ متر شاهد افزایش نیرو به ترتیب برابر ۱۲/۲۸، ۱۲/۳۸ و ۱۲/۴۵ درصد در کف حوضچه و نزدیک آب-پایه خواهیم بود. شکل شماره (۲۴) الی (۲۶) تغییرات نیرو در ارتفاع آب پایه را برای دبی‌های موجود نشان می‌دهد. بررسی‌ها حاکی از آن است که با افزایش طول حوضچه آرامش، پارامترهای فشار و نیرو روند کاهشی خواهند داشت به طوری که اختلاف فشار و نیروی ایجاد شده بر وجه قائم آب پایه انتهایی با افزایش طول بسیار ناچیز است و کاهش جزئی خواهد داشت. بر این اساس به منظور صرفه‌جویی در هزینه‌های طراحی و ساخت می‌توان از حوضچه آرامش مرجع با طول ۷۵ متر استفاده نمود.



شکل (۲۱): تغییرات فشار در ارتفاع آب پایه برای دبی PMF

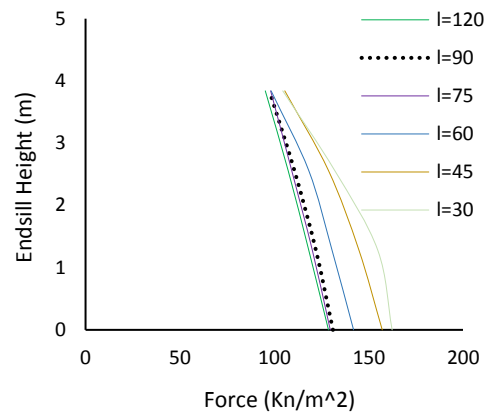


در نظر گرفته شد و برای ایجاد استهلاک بیشتر انرژی جریان در درون حوضچه آرامش، با توجه به عدد فرود اولیه پرش و عمق اولیه موجود بلوک‌های مستطیلی به ابعاد $۲*۳*۴$ سانتی‌متر طراحی گردید و بر روی کف حوضچه آرامش و در راستای عرض حوضچه تعبیه شد طوری که تراز تاج بلوک‌ها هم‌تراز پایین‌دست گردد. با قرارگیری این موانع در عرض حوضچه آرامش، انتظار می‌رود در اثر برخورد جریان به موانع، علاوه بر استهلاک انرژی جریان، با وجود فضا و حفره‌هایی موجود در بین بلوک‌ها، سبب ایجاد و استقرار چرخابه در اطراف موانع شده و در نتیجه سبب ایجاد استهلاک انرژی بیشتر و کاهش نیروی وارد بر آب‌پایه گردد. بنابراین می‌توان میزان استهلاک انرژی جریان را در درون حوضچه آرامش با قرارگیری بلوک‌ها در مقایسه با حوضچه آرامش در حالت صاف بررسی نمود. شکل (۲۷) نمایی از قرارگیری بلوک‌های مستطیلی در درون حوضچه آرامش را نشان می‌دهد.

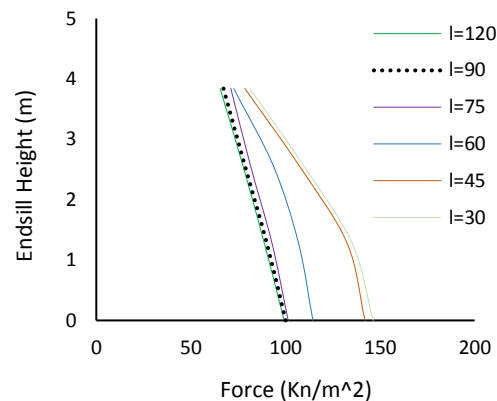


شکل (۲۷): چیدمان بلوک در کف حوضچه آرامش

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته از قبل، افزایش طول حوضچه آرامش و ایجاد پرش هیدرولیکی به صورت کامل، سبب استهلاک انرژی بیشتری در درون حوضچه آرامش گردیده است به طوری که در حوضچه به طول ۷۵ متر، ۹۰ متر و ۱۲۰ متر کمترین میزان انرژی باقی‌مانده قابل مشاهده است. در بررسی حاضر، با ایجاد مانع در مسیر جریان، میزان استهلاک انرژی $۱۴/۳۱$ درصد نسبت به حالت حوضچه آرامش با طول ۷۵ متر و بستر صاف افزایش یافته است. که نتیجه آن به صورت نمودار شکل (۲۸) نشان داده شده است. علت این افزایش استهلاک، برخورد جریان با موانع و وجود



شکل (۲۵): تغییرات نیرو در ارتفاع آب‌پایه برای طول‌های مختلف حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰۰ ساله



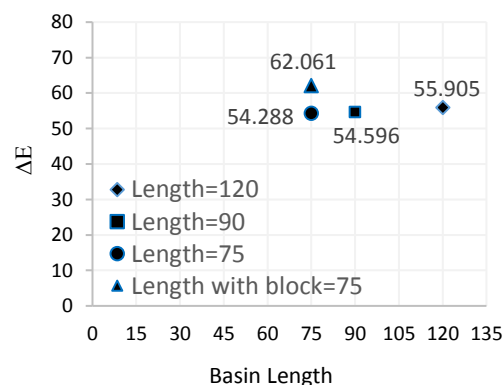
شکل (۲۶): تغییرات نیرو در ارتفاع آب‌پایه برای طول‌های مختلف حوضچه آرامش و دبی ۱۰۰۰ ساله

تحلیل بکارگیری موانع در طول حوضچه

همان‌طور که در قسمت‌های قبل مطرح شد، به منظور تحلیل استهلاک انرژی جریان در درون حوضچه آرامش تغییراتی در ساختار هندسی حوضچه اعمال گردید. به طوری که سعی شد با در نظر گرفتن این تغییرات در طول حوضچه آرامش و قرارگیری آب‌پایه انتهایی، به طور مستقیم بر میزان استهلاک انرژی جریان تاثیر گذاشت. در ادامه جهت بررسی عملکرد بهتر حوضچه آرامش در استهلاک بیشتر انرژی جریان، به توسعه این مدل عددی با قرارگیری موانع بلوکی پرداخته شده است. به این منظور جهت مقایسه، حوضچه آرامش سرریز سد چایلی با طول ۷۵ متر در حالت بستر صاف

استفاده گردیده است. در حالت اول اعمال تغییرات در طول حوضچه آرامش در نظر گرفته شد و در حالت دوم به بررسی قرارگیری بلوک‌های میانی در حوضچه بر روی نتایج پرداخته شد. در بخش نتایج حاصل از تحقیق می‌توان گفت که در نظر گرفتن آب‌پایه انتهایی در حفظ پرش هیدرولیکی در داخل حوضچه آرامش حائز اهمیت می‌باشد. به طوری که در تمام شبیه‌سازی‌های صورت گرفته خروج پرش به بیرون از حوضچه آرامش مشاهده نشده است. در حالت اول با تغییرات ایجاد شده در طول حوضچه آرامش، شاهد تغییراتی در پارامترهای هیدرولیکی جریان خواهیم بود به طوری که با افزایش طول حوضچه آرامش به ۹۰ متر و ۱۲۰ متر نسبت به مدل مرجع با طول ۷۵ متر، مقدار استهلاک انرژی جریان برابر ۰/۵ و ۲/۸۶ درصد افزایش یافته است. در حالی که با کاهش طول حوضچه شاهد مقادیر کمتر استهلاک انرژی خواهیم بود به طوری که استهلاک انرژی جریان بین ۶ الی ۱۶ درصد کاهش داشته است. انرژی باقی‌مانده جریان در انتهای حوضچه آرامش با طول بیشتر کمتر بوده و این مهمترین دلیل در کارایی بالا و اتلاف انرژی بیشتر در این حوضچه است. مقدار فشار و نیرو ایجاد شده در انتهای حوضچه آرامش وارد بر وجه قائم آب‌پایه با افزایش طول حوضچه به ۹۰ و ۱۲۰ متر به ترتیب برابر ۲/۵-۲/۳ درصد و ۲/۲-۲/۱ درصد کمتر از گزینه‌های دیگر حوضچه می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که با افزایش طول حوضچه آرامش تغییر قابل ملاحظه‌ای در فشار و نیروی وارده بر آب‌پایه مشاهده نمی‌شود. به عبارت دیگر علیرغم کاهش حدود ۳ و ۲ درصدی انرژی باقیمانده در حوضچه آرامش با طول ۱۲۰ متر و ۹۰ متر نسبت به حوضچه مرجع با طول ۷۵ متر، نیروی وارده بر آب‌پایه انتهایی، کاهش محسوس داشته است. در حالت دوم با قرارگیری موانع بلوکی در درون حوضچه آرامش به طول ۷۵ متر، مشاهده شد که مقدار استهلاک انرژی جریان برابر ۱۴/۳ درصد نسبت به حوضچه در حالت صاف افزایش می‌یابد. در جمع‌بندی نتیجه حاصل از تحقیق می‌توان گفت، اگرچه با افزایش طول حوضچه آرامش میزان اتلاف

فضای خالی بین بلوک‌ها می‌باشد. در حالی که این استهلاک انرژی در حوضچه آرامش با طول ۹۰ متر با بستر صاف ۰/۵ درصد و در حوضچه با طول ۱۲۰ متر و بستر صاف ۲/۸ درصد نسبت به حوضچه با طول ۷۵ متر افزایش داشته است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته می‌توان گفت که با قرار دادن مانع در مسیر جریان در درون حوضچه آرامش، میزان استهلاک انرژی نسبت به حالتی که تغییرات را در طول حوضچه اعمال کردیم افزایش قابل توجهی خواهد داشت. بنابراین می‌توان جهت کاهش هزینه‌ها و صرف زمان اندک، از طراحی و ساخت حوضچه آرامش با افزایش طول به جهت استهلاک انرژی بیشتر خودداری نمود و از عملکرد حوضچه با طول ۷۵ متر با قرارگیری موانع جهت استهلاک بیشتر انرژی جریان استفاده نمود.



شکل (۲۸): مقایسه اتلاف انرژی در حوضچه آرامش با دبی PMF

نتایج و بحث

یکی از روش‌های استهلاک انرژی جریان در سازه‌های هیدرولیکی، استفاده از پرش هیدرولیکی در حوضچه آرامش می‌باشد. مطالعات متعدد نشان داد که کارایی و میزان استهلاک انرژی در حوضچه‌های آرامش، وابسته به مشخصات هندسی آن و مشخصات بلوک میانی و آب‌پایه انتهایی است. بر این اساس در پژوهش حاضر اثر موقعیت آب‌پایه و طول‌های مختلف حوضچه بر مشخصات هیدرولیکی و میزان استهلاک انرژی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انجام این کار از دو حالت

تشکر و قدردانی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی با عنوان بررسی عددی تاثیر طول حوضچه آرامش بر میزان استهلاک انرژی جریان با حمایت دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل انجام پذیرفته است.

انرژی جریان افزایش می یابد ولی میزان فشار و نیروهای وارده به آب پایه انتهایی حوضچه پس از یک طول خاص تغییر قابل ملاحظه ای نخواهد داشت و عملکرد حوضچه در کاهش انرژی باقی مانده با افزایش طول به هم نزدیک می باشد. به طوری که می توان جهت کاهش هزینه ها از حوضچه مرجع با طول ۷۵ متر استفاده نمود.

منابع

- بیرامی، م.، ایلاقی حسینی، د. ۱۳۸۴. کنترل پرش هیدرولیکی توسط یک یا دو آب پایه در حوضچه آرامش واگرا. ۲۵-۳۳.
- بهشتی، م.، حمیدی، م.، محمدحسینی، ف. ۱۳۹۵. عملکرد هیدرولیکی جریان دو فازی آب و هوا بر روی تنداب های پلکانی با موانع بلوکی. نهمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد
- بهنام طلب، ا.، قدسیان، م.، زراتی، ا.، نیشابوری، ع. ۱۳۹۸. اصلاح هندسی حوضچه آرامش VI USBR با استفاده از مدل عددی. مجله علمی - پژوهشی هیدرولیک، دوره ۱۳، شماره ۴.
- جعفری، ا.، احمدی، ح. ۱۳۹۶. مطالعه عددی تاثیر شکل و ابعاد بلوک های حوضچه آرامش در میزان استهلاک انرژی. مجله علمی تخصصی مهندسی و مدیریت ساخت، دوره ۱، شماره ۱۴، صفحه ۱-۱۱.
- خواجه گودری، م.، شفاعی بجستان، م. ۱۳۹۶. مشخصات پرش هیدرولیکی روی بستر با المان های شش پایه نفوذ پذیر. علوم و مهندسی آبیاری، جلد ۴۰، ۱۵-۲۵.
- قاسم زاده، ف. ۱۳۹۲. شبیه سازی مسائل هیدرولیکی در Flow-3D. چاپ دوم، انتشارات نوآور، تهران.
- مینایی، ع.، دانش فراز، ر.، انصاری جمالی فر. ۱۳۹۶. بررسی عددی استهلاک انرژی در حوضچه آرامش سرریز سد قلعه چای. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، اردبیل، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه محقق اردبیلی.
- هوشیاری پور، ف.، دهقان، م.، مهاجری، ح. ۱۳۹۸. بررسی تاثیر زاویه واگرایی حوضچه آرامش و موقعیت آب پایه بر خصوصیات پرش هیدرولیکی با مدلسازی عددی. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۱، صفحات ۸۵ تا ۹۸.
- Abdelazim, M.A and Yasser, A.M. 2010. Effect of stilling basin shape on the hydraulic characteristics of the flow downstream radial gates. Alexandria Engineering Journal, Vol. 49, pp. 393-400.
- Aleyasin, S.S., Fathi, N. and Vorobieff, P. 2015. Experimental Study of the Type VI Stilling Basin Performance. Journal of Fluids Engineering, 137(3), p. 034503.
- Biabani, S., Hamidi, M., & Neya, B. N. 2019. Numerical simulation of the Chute Convergence effects on Forming the Transverse Wave in Flood Evacuation Systems. Journal of Hydraulics, 14(3), 67- 84. doi: 10.30482/jhyd.2019.174636.1373
- Fathi-Moghadam, M., Haghhighipour, S., Lashkar-ara, b., Aghtouman, P. 2011. Reduction of stilling basin length with tall end sill. Elsevier- Journal of Hydrodynamics, 23 (4): 498-502.
- Henderson, F.M. 1966. Open Channel Flow. Macmillan Publishing co. Inc. New York. pp. 1-76.
- H. Babaali, A. Shamsai, H. Vosoughifar. 2015. Computational Modeling of the Hydraulic Jump in the Stilling Basin with Convergence Walls Using CFD Codes, Arab. J. Sci. Eng., 40, 381-395.



H. Ghoveisi, M.H. Omid, G.A. Kiker. 2016. Investigation of the effect of expansion angle on gradually expanding hydraulic jump in trapezoidal channel, Conference: 2016 American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE), DOI: 10.13140/RG.2.2.25563.98080.

Mossa, M., Petrillo, M. and Chanson, H. 2003. Tail water level effects on flow conditions at an abrupt drop. Journal of Hydraulic Research, Vol. 41, No.1, pp. 39-51.

Ohtsu, I. and Yasuda, Y. 1991. Transition from supercritical to subcritical flow at an abrupt drop. Journal of Hydraulic Research, Vol. 29, No.1, pp. 309-328.

Y. Shekari, M. Javan, A. Eghbalzadeh. 2015. Effect of turbulence models on the submerged hydraulic jump simulation, Journal of Applied Mechanics and Technical Physics, 56(3), 454-46.

Zahed, E., Farhoudi, J., and Javan, M. 2010. "Similarity of scour evolution downstream of stilling basin with an end sill", New Aspects of Fluid Mechanics, Heat Transfer and Environment, ISBN: 978-960-474-215-8.



Numerical Investigation of the Effect of Stilling Basin Length on Flow Energy Dissipation (Case Study of the Chaili Dam Spillway)

Mehdi Hamidi¹, Fatemeh Mohammadhoseyni²

Abstract

One of the most common ways to reduce kinetic energy dissipation is to use a stilling basin. One of the most important parameters of the stilling basin, which has a great impact on its construction costs, is the length of the basin, so it is possible to reduce construction costs by examining and studying it carefully. In this study, the stilling basin was first performed and calibrated using the laboratory data of Chanson and Chachru. Then the spillway of the Chaili dam was investigated using Flow-3D software with RNG turbulence modeling model and flow hydraulic parameters by applying changes along the stilling basin. Studies show that increasing and decreasing the length of the stilling basin and the placement of the end-sill have different effects on the flow characteristics as well as the amount of energy loss. Since increasing the amount of energy consumption is desirable, so among the various modes of the length of the stilling basin, increasing the length of the basin is selected. Increasing the length of the stilling basin increases the energy dissipation and reduces the pressure and force on the end-sill. So that the energy dissipation by increasing the length of the stilling basin to 90 meters and 120 meters compared to the reference model with a length of 75 meters increased by 0.55 and 2.8 percent, respectively, and the force applied to the vertical wall of the end sill, respectively, 5.63 and 3.45 percent decreased. The effect of the placement of the rectangular block on the force and the amount of energy dissipation of the flow was evaluated. The results showed that creating a rectangular block inside the stilling basin reduced the secondary depth of jump and reduced the strength by 7.1% and increased the relative energy loss by 14.31% compared to the stilling basin in the flat state so that the use of blocks They will make the stilling basin than the changes along the stilling basin. Based on this, the results of this research and the methods used in it can be used as an idea to determine the optimal stilling basin.

Keyword: Energy dissipation, Flow-3D Software, Stilling Basin, Turbulence model RNG.

¹Assistant Professor, group of water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Babul Noshirvani University of Technology, Iran. (First author).

Email address: hamidi@nit.ac.ir.

² M. Sc. water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Babul Noshirvani University of Technology, Iran.

Email address: M.mohammadhoseyni@gmail.com.