ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

شماره مجوز مجله: ۸۰۴۰۰ زمان چاپ: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰

بررسی هیدرولیکی سرریز کلیدپیانویی با پاراپت وال با استفاده از مدل‌عددی سه-بعدی

علی حمزه زاده کرکرق[۱]، مهدی ماجدی اصل[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی، دانشگاه مراغه

۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی، دانشگاه مراغه

(*alihamzezade6@gmail.com*)

۱. چکیده

سرریز کلید پیانویی یک سازه کنترل جریان و حالت توسعه‌یافته سرریزهای غیرخطی است از آنجا که یکی از کاربردهای سرریزهای کلیدپیانویی استفاده از آنها در سدها و کانال‌ها می باشد و البته این امکان وجود دارد که به جهت توان تخلیه‌ی بالای جریان، در فصول کم آبی سطح آب با کاهش شدید روبه رو شود؛ لذا با ساخت پاراپت وال هایی میتوان این امکان را برای سرریز به وجود آورد که بتواند سطح آب در بالادست خود را در صورت کاهش دبی در یک حدّ مشخصی ثابت نگه دارد. در این تحقیق سرریز کلید پیانویی ساده وسرریز کلید پیانویی با دیواره با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D مدل‌سازی شده است صحت نتایج مدل‌سازی با محاسبه‌ی میزان خطا و مقایسه آنها با داده‌های آزمایشگاهی بررسی شد و روند تغییرات ضریب دبی به ازای نسبت‌های مختلف هد به ارتفاع سرریز برای هر مدل محاسبه می‌گردد. هدف از مطالعه‌ی حاضر بررسی تاثیر پاراپت وال در دبی و ضریب دبی سرریز کلیدپیانویی است. نتایج نشان داد که افزایش ۵تا۱۰درصدی در ضریب دبی سرریز با پاراپت وال نسبت به سرریز بدون پاراپت وال دارد.

کلمات کلیدی: سرریز کلیدپیانویی، پاراپت وال، ضریب دبی، FLOW-3D

۲. مقدمه

سرریزها سازه‌هایی هستند که برای اندازه‌گیری دبی، انحراف یا کنترل جریان در کانال‌ها، رودخانه‌ها و مخازن سدها استفاده می‌شوند. اگرچه سرریزها عمدتاً برای حالت جریان آزاد در نظر گرفته می‌شوند، لیکن در برخی موارد احتمال وقوع استغراق آنها نیز وجود دارد. بحث استغراق در سازه‌های هیدرولیکی نظیر سرریزها به دو دسته استغراق موضعی و کلی تقسیم‌بندی می‌شود. در حالت استغراق موضعی، به واسطه شرایط جریان موضعی، بخشی از سازه سرریز توسط جریان عبوری از روی آن پر شده و باعث کاهش آبگذری سرریز می‌شود. سرریزها با توجه به شکل پلان به دو دسته کلی سرریزهای خطی و غیرخطی تقسیم‌بندی می‌شوند. سرریزهای غیرخطی نظیر سرریزهای انحنادار در پلان و یا سرریزهای کنگره‌ای ضمن افزایش طول عبوری جریان، باعث افزایش ظرفیت آبگذری سازه می‌شوند. سرریزهای کنگره‌ای به‌صورت سری زیگزاکی از سرریزهای خطی می‌باشند که در یک عرض ثابت، طبق رابطه زیر باوجود داشتن ضریب دبی کمتر(C_d) حاصل‌ضرب طول و ضریب دبی($C_d . L_c$) در آنها بزرگتر

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

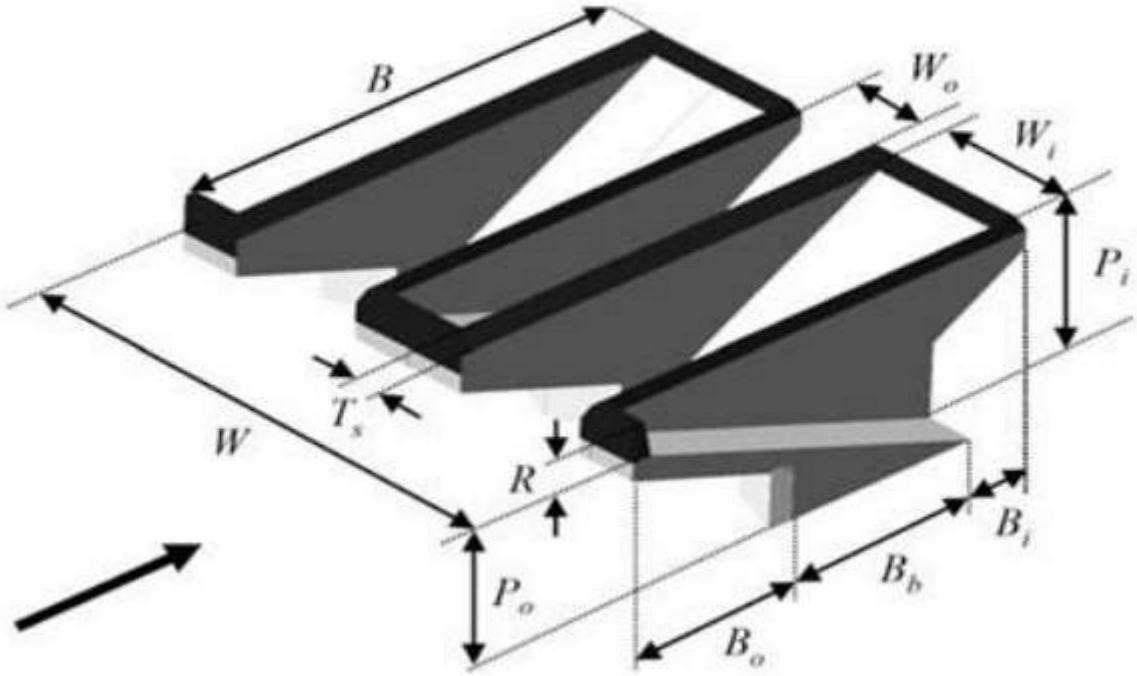
۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

از سرریزهای خطی بوده و عملکرد هیدرولیکی در حد سه تا چهار برابر بیشتر نسبت به سرریزهای خطی دارند(تولیس و همکاران ۲۰۰۷).

$$Q = \frac{2}{3} C_d L_c \sqrt{2g} H_t^{1.5} \quad (۱)$$

در رابطه فوق،Q دبی عبوری از سرریز بوده و C_d، L_c و H_t به ترتیب بیانگر ضریب دبی، طول تاج توسعه‌یافته و هد کل (مجموع هد سرعت و هد هیدرواستاتیکی) بر روی سرریز می‌باشند. سرریزهای کنگره‌ای دارای دیواره‌های قائم بوده و به‌واسطه برخورد جریان به ویژه (جریان‌های تحتانی) به دیواره‌ها و شکل‌گیری نواحی چرخشی باعث افت انرژی و درنتیجه کاهش کارایی هیدرولیکی سرریز می‌شوند. از دیدگاه اقتصادی نیاز به حجم بتن‌ریزی بالایی داشته و علاوه بر آن سطح فونداسیون بالایی نیاز دارند که در شرایط محدود بودن محل نصب (نظیر تاج سدهای بتنی و یا کانال کم‌عرض) استفاده از این نوع سرریزها با مشکل مواجه می‌شود (اندرسون و تولیس۲۰۱۲). برای رفع مشکلات فوق و همچنین افزایش کارایی هیدرولیکی این سازه‌ها، نوع اصلاح شده این نوع سرریزها را تحت عنوان سرریزهای کلیدپیانویی ارائه نموده‌اند(لمپریره و اوامین۲۰۰۳). درشکل(۱) نمای سه بعدی سرریزهای کلیدپیانویی به همراه پارامترهای مهم سازه‌ای وهیدرولیکی نمایش داده شده است.

در شکل(۱)، W: عرض کانال، T_S: ضخامت تاج جانبی، P_O: ارتفاع کلیدخروجی، P_i: ارتفاع کلید ورودی، W_O: عرض کلیدخروجی، W_i: عرض کلید ورودی، B_i: طول شیروانی ورودی، B_O: طول شیروانی خروجی، B_b: طول مبنا، B: طول تاج جانبی و R: ارتفاع پاراپت وال می‌باشند



شکل(۱): سرریز کلید پیانویی به همراه پارامترهای هندسی معرف

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

در شکل بالا نمای سه‌بعدی از این نوع سرریز به همراه پارامترهای معرف هندسی نشان داده شده است. با توجه به شکل، برخلاف سرریزهای کنگره‌ای، کف دهانه‌های سیکل‌های ورودی و خروجی کلیدها شیبدار به سمت داخل و خارج می‌باشند. علاوه بر آن، در بالادست و پایین‌دست ضمن خالی نمودن زیر کلیدها، بالادست و پایین‌دست بخش‌هایی تحت عنوان شیروانی بالادست وپایین‌دست ایجادشده است.

اولین سرریز کلیدپیانویی در سال (۲۰۰۶) بر روی سد گلورس در کشور فرانسه اجراشده است(لاوگیر،۲۰۰۷). بعد از طی سال-های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۰ برای بهبود عملکرد تخلیه سیلاب، سدهای مختلفی نظیر سنت‌مارک، اترویت وگلوریتس نیز از سرریزهای کلیدپیانویی استفاده شد. مطالعات آزمایشگاهی (اوامین و لمپریره ، ۲۰۰۶) نشان داد که در سرریزهای کلید پیانویی دو نوع جریان غالب وجود دارد: کلید ورودی جریان‌های نزدیک شونده را به سمت خود کشیده و مشابه سرریزهای لبه‌تیز با بدنه شیبدار جریان از روی تاج ورودی به‌صورت ریزشی به سمت پایین‌دست تخلیه می‌شود. الگوی دوم بر روی کلیدهای خروجی شکل می‌گیرد. در این بخش، جریان عبوری از روی تاج خروجی، مشابه یک جت به سمت پایین‌دست بخش شیبدار کلید تخلیه می‌شود.

بر اساس مطالعات (هین وهمکاران ۲۰۰۶) مقدار بهینه برای نسبت Wo/Wi برابر 1/2 می‌باشد. روند طراحی این نوع سرریزها اولین بار توسط (ماچلیس و همکاران،۲۰۱۱) ارائه شده است. (ریبریو و همکاران، ۲۰۱۲) با استفاده از نتایج مدل‌های فیزیکی موجود یک معادله عمومی برای رابطه اشل-دبی این نوع سرریزها ارائه نمودند.

(کبیری سامانی و جواهری، ۲۰۱۲) ظرفیت آبگذری این نوع سرریزها را در حالت کاربرد در کانال‌ها بررسی نموده و با استفاده از آنالیز ابعادی و نتایج آزمایشگاهی، روابط تجربی برای ضریب آبگذری این نوع سرریزها ارائه نمودند. (اندرسون و تولیس، ۲۰۱۲) عملکرد هیدرولیکی سرریزهای کنگره‌ای و کلیدپیانویی مستطیلی را مقایسه کردند. (صفرزاده و نوروزی، ۲۰۱۷) با استفاده از مدل‌عددی سه‌بعدی، ساختار جریان بر روی سرریزهای کلید پیانویی ذوزنقه‌ای را مطالعه نموده و به بهبود زیادی در ضریب دبی این نوع سرریزها در سرریزهای کلید پیانویی مستطیلی و کنگره‌ای اشاره نموده‌اند. در تحقیق مزبور به اهمیت تاج کناری بر عملکرد هیدرولیکی سرریز تأکید شده است.

(اوامین و لمپریره ، ۲۰۰۶) دو نوع سرریز کلیدپیانویی جدید را ارائه کردند. نوعA که در آن شوت‌ها در هر دو سمت داخل و بیرون وجود دارند. نوعB، که در آن ها فقط بخش شیبدار به سمت داخل وجود دارد. البته سرریز کلیدپیانویی نوعA عمومیت بیشتری نسبت به سرریز نوع B دارد. زیرا هندسه‌ی سرریز نوعA بهتر و راحت‌تر با سازه‌های پیش‌ساخته بتنی قابل اجرا می-باشد. همچنین دو نوعC و D از این سرریزها وجود دارند. تفاوت این سرریزها را از لحاظ شکل هندسی می‌توان در وجود شیروانی‌های بالادست و پایین‌دست بیان کرد. سرریز نوع A دارای شیروانی‌های بالادست و پایین‌دست است. سرریز نوع C و B دارای شیروانی پایین‌دست هستند. و نوع D هیچکدام از شیروانی‌ها را ندارد. طبق بررسی‌هایی(اندرسون و تولیس، ۲۰۱۲) به این نتیجه رسیدند که وجود شیروانی‌ها تاثیر مثبتی بر تخلیه جریان دارد. سرریز کلیدپیانویی نوع A از لحاظ هیدرولیکی گزینه مناسبی برای جایگزینی سرریزهای خطی بوده، زیرا می‌تواند دبی در واحد عرض را به ازای هدهای مشابه و عرض سرریز افزایش دهد. این مزیت سبب افزایش بازده مخزن سد می‌شود. در نهایت در مقایسه‌ای بین این دو نوع سرریز میتوان گفت که سرریز نوع A بخاطرداشتن قابلیت استفاده ازبتن پیش‌ساخته شده در حین ساخت مقرون بصرفه‌تر از سرریز نوع B است. اما سرریز نوع B دارای دبی عبور بیشتری نسبت به سرریز نوع A است. ازآنجایی که این نوع سرریزها بسیار جدید هستند، تنها معادلات محدودی در حیطه‌ی آنها ارائه شده است. بنابراین تعداد زیادی تست و مدل آزمایشگاهی به منظور فهم و درک درست از جریان روی این نوع سرریز انجام گرفته است. در پی این آزمایشات مشخص شد که دو دسته از پارامترهای هندسی این سرریز هر کدام با توجه به اهمیت خود بر دبی و هیدرولیک جریان تاثیر می‌گذارند. اصلی‌ترین پارامترها که بر ظرفیت دبی عبوری سرریز تاثیر میگذارند، طول نسبی تاج و مقدار نسبی هد آب است. سری دوم پارامترها که اثر کم اما غیر قابل چشم-

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

پوشی دارند، نسبت عرض کلیدهای ورودی به کلیدهای خروجی، نسبت ارتفاع کلیدهای ورودی به خروجی، طول نسبی شیروانی‌ها و ارتفاع نسبی دیواره‌های پاراپت هستند. از انواع کاربردی سرریزها، سرریز مدور قائم با شکل‌های مختلف ورودی نظیر نیلوفری یا لاله‌ای است. این نوع سرریز در شرایطی که محدودیت مکانی برای ساخت دیگر انواع سرریزها وجود دارد، بسیار مؤثر عمل می‌کند. از مشکلات هیدرولیکی این سرریز می‌توان به تشکیل جریان گردابی در ورودی آن اشاره نمود. تشکیل جریان گردابی و به تبع آن ورود هوا به مجرا، تأثیرات منفی بر عملکرد هیدرولیکی این نوع سرریز ایجاد نموده و باعث بروز خسارات جبران ناپذیری می‌شود. یکی از روش‌های کنترل جریان، گرداب‌های اصلاح شکل ورودی است. استفاده از سرریزکلید پیانویی مدور به عنوان ورودی شفت‌های قائم یکی از روش‌های اصلاح ورودی سرریز مدور قائم است. این سرریز به واسطه‌ی ساختار خاص خود سبب کنترل جریان گردابی می‌شود و تاثیر چشم‌گیری در کاهش قدرت جریان گردابی دارد. ضمن اینکه استفاده از این ورودی ضریب دبی جریان را نیز افزایش می‌دهد.

۳. مواد و روش‌ها

برای انجام این تحقیق از روش هیدرولیک محاسباتی (CFD) استفاده شده و مدل سه‌بعدی در محیط نرم‌افزار اتوکد انجام و برای حل مساله و شبیه‌سازی از نرم‌افزار Flow 3D استفاده شده است. برای صحت‌سنجی مدلسازی صورت گرفته از داده‌های آزمایشگاهی ماجدی‌اصل (۱۳۹۶) استفاده شده است و پس از اطمینان از صحت عملکرد مدل عددی ساخته شده، مساله برای طیف گسترده‌ای از مشخصات هندسی و هیدرولیکی اجرا خواهد شد. نرم‌افزار Flow-3D یکی از نرم‌افزارهای مناسب و پرکاربرد جهت مدل‌سازی عددی جریان سیال در زمینه‌ی دینامیک سیالات است. این نرم‌افزار قابلیت تحلیل سه‌بعدی میدان جریان را داشته و محدوده کاربردی بسیار وسیعی را در تحلیل و مدل‌سازی عددی جریان سیالات دارد.

۳-۱- معادلات حاکم بر جریان

معادله حاکم بر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی سرریزها مطابق فرمول (۱) است. معادلات حاکم در این مدل، معادلات ناویراستوکس و معادله‌ی بقای‌جرم و معادله پیوستگی بوده که به روش اویلری حل گسسته‌سازی این معادلات انجام می‌شود. در این حالت یک حجم کنترل ثابت و در واقع یک دستگاه مختصات ثابت در فضا در نظر گرفته می‌شود و جریان سیال تنها نسبت به این چهارچوب ثابت بررسی می‌گردد. در این حالت سیال مورد بررسی سیالی است که در هر لحظه از زمان در داخل حجم کنترل قرار می‌گیرد. اما مشکل اصلی روش اویلری پخش عددی آن بوده که به علت ترم‌های جابجایی در معادلات حاکم بر جریان ایجاد می‌شود.

معادله کلی بقای جرم یا پیوستگی بصورت زیر می باشد:

معادلات حاکم بر حرکت جریان سیال در نرم افزار Flow3D با استفاده از تقریبات احجام محدود حل می‌شود. محیط جریان به شبکه‌هایی با سلول‌های لوله‌ای تقسیم شده که برای هر سلول مقادیر کمیت‌های وابسته وجود دارد. همه متغیرها در مرکز سلول محاسبه می‌شوند. تنها متغیر سرعت در مرکز وجوه سلول محاسبه می‌شود. در این نرم‌افزار از دو تکنیک عددی برای شبیه‌سازی هندسی استفاده شده است.

۱. روش حجم سیال(VOF) این روش برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲. روش کسر مساحت-حجم مانع (FAVOR): این روش برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی کاربرد دارد. هندسه مسئله به وسیله محاسبه کسر مساحت وجوه و کسر حجم هر المان برای شبکه که به وسیله موانعی محصور شده‌اند، تعریف می‌شوند.

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

FIOW3D از یک شبکه آسان با اجزاء مستطیلی استفاده کرده که از مزایای آن نظم مناسب جهت بهبود صحت عددی است. همچنین این روش نیاز به حافظه ذخیره کمتری دارد. شکل هندسی درون یک شبکه با استفاده از محاسبات مساحت‌های نیروی اصطکاک و حجم‌های اصطکاکی از هر جز تعریف می‌شود. برای حل آشفتگی نیز از پنج روش مختلف طول اختلاط پرانتل، مدل یک معادله‌ای انرژی جنبشی آشفتگی، مدل دو معادله‌ای $k-\varepsilon$ ، مدلRNG و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده می‌شود. شبکه حل به این صورت است که میدان حل به صورت مش‌بندی تقسیم‌بندی شده و معادلات گسسته-سازی بر روی هرکدام از این مش‌ها انجام می‌شود.[11]

روند عمومی خطاهای موجود در روند مدلسازی عددی مورد نظر به شکلی بوده که با افزایش دبی و بارآبی از میزان خطاها کاسته می‌شود. خطاهای موجود ممکن است به دلایل زیر باشد.

۱. فرضیات موجود در تدوین معادلات اساسی حاکم بر میدان سیال
۲. روش‌های عددی مورد استفاده در شبیه‌سازی
۳. اندازه و تعداد سلول‌های شبکه‌ی حل
۴. خطاهای موجود در آزمایشگاه از نظر ساخت مدل آزمایشگاهی ، تجهیزات مورد استفاده و میزان دقت آنها نیز اثر خود را بر روی اطلاعات آزمایشگاهی می‌گذارند و در زمان مقایسه‌ی نتایج آزمایشگاهی با نتایج عددی منبعی برای بروز اختلاف بین نتایج هستند. البته میزان و جهت این خطا مشخص نیست و تصمیم‌گیری در مورد آن بسیار دشوار است.

۳-۲- مدلسازی جریان

۳-۲-۱- معرفی مدل فیزیکی

در این تحقیق سرریزهای کلیدپیانویی ساده با استفاده از نرم‌افزار FLOW3D مدلسازی شده‌اند و روند تغییرات دبی به ازای نسبت‌های مختلف هد به ارتفاع سرریز برای هر کدام از سرریزها محاسبه می‌گردد. نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده توسط (ماجدی اصل ۱۳۹۶) مقایسه و صحت‌سنجی می‌شود. با استفاده از نتایج میدان جریان سه-بعدی علت تفاوت روند تغییرات ضرایب دبی بررسی خواهد شد. در ادامه ضمن بیان مفاهیم مربوط به شبیه‌سازی و با معرفی مشخصات هندسی و هیدرولیکی سرریز، نتایج حاصل از مدلسازی‌های انجام شده ارائه خواهد شد. با مدلسازی عددی دقیق و بدست آوردن مقادیر متناسب با داده‌های آزمایشگاهی می توان درک صحیحی از الگوی جریان عبوری از روی تاج این گونه از سرریزها داشته و در صورت امکان راهکارهای مناسبی جهت کاهش مشکلات موجود در سرریزهای کلید پیانویی ارائه نمود. بنحوی که ارتفاع سرریز ۱۰ cm، طول تاج سرریز۵۰cm، عرض کانال ۱۰۰cm، ضخامت دیواره سرریز ۱cm، عرض کلید ورودی۲۵cm عرض کلید خروجی۲۵cm، تعداد سیکل‌ها ۴ ، شیب کف کلیدورودی و خروجی ۶۶,۶۴ ٪ است.

جدول(۱) -مشخصات شبکه‌بندی، شرایط مرزی و معادلات مورد استفاده در مدل های عددی

شبکه بندی	نوع مدل	VOF
	نوع شبکه	مستطیلی تطبیقی
	تعداد بلوک محاسباتی	۱۲۰۰۰۰۰
	تعداد حجم محاسباتی	SOLID
شرایط مرزی	بدنه سرریز	PRESSURE
	مرز خروجی	OUTLET

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

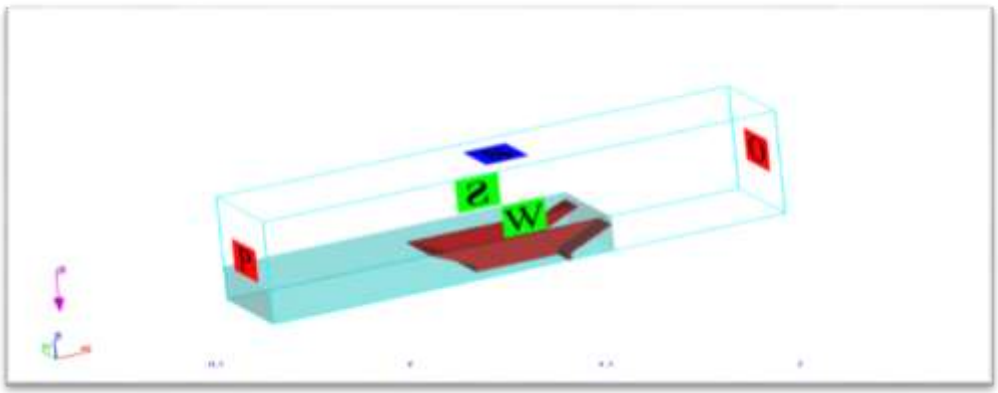
۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN

معادلات	مرز کناری	SYMMETRY
	مرز کف	WALL
	مدل آشفتگی	RNG
	الگوریتم حل معادلات	GMRES
	الگوریتم حل تنش برشی سیال	صریح
	مدل سطح آزاد	الگوی حجم سیال

در صورت استفاده از یک شبکه‌بندی با ابعاد کوچک که هندسه سازه هیدرولیکی مورد نظر را با دقت مناسب تشخیص می‌دهد. یکی از پارامترهای مهم، انتخاب زمان مناسب برای حل و رسیدن جریان به حالت پایدار می‌باشد. علاوه‌بر آن واجب است که پاسخ هیدرودینامیکی سازه به ازای شرایط هیدرولیکی مختلف یا داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شوند. جهت اطمینان زمان ۵۰ ثانیه برای حل در نظر گرفته شده است.

۴. نتایج و بحث

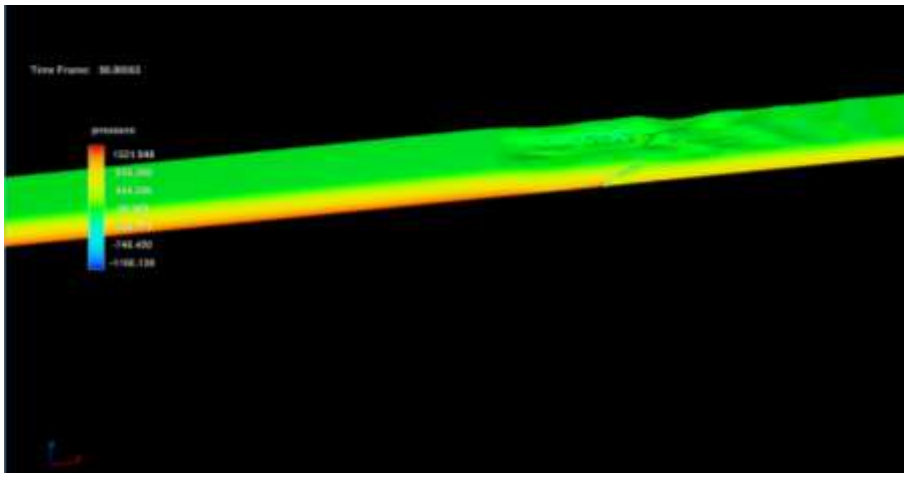
برای شبیه‌سازی عددی جریان بر روی سرریزهای تست‌شده در بخش آزمایشگاهی، به دلیل وجود تقارن در مسئله، مدل عددی تک کلید واحد شامل یک کلید خروجی به همراه دو نیم کلید در طرفین مطابق شکل (۲) ساخته‌شده است. هندسه سرریز مشابه با حالت آزمایشگاهی در نظر گرفته‌شده و از یک بلوک محاسباتی با شبکه‌بندی کارتزین برای انفصال میدان حل استفاده شده است شبکه‌بندی میدان به‌صورت یکنواخت و به‌نحوی‌که تعداد کل سلول‌های محاسباتی ۱۲۰۰۰۰۰ است. نسبت ابعاد در هر جهت برابر یک بوده و شبکه‌بندی به حدی ریز می‌باشد که ضمن شناخت کامل هندسه سرریز با استفاده از الگوریتم FAVOR، جزئیات ریز میدان در نواحی اطراف سرریز نظیر نواحی جدایی جریان با دقت بالا توسط مدل عددی قابل شبیه‌سازی می‌باشد.



شکل (۲): جزئیات هندسی، شبکه‌بندی و تنظیم شرایط مرزی مدل عددی جریان بر روی سرریز کلید پیانویی با کلید واحد

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

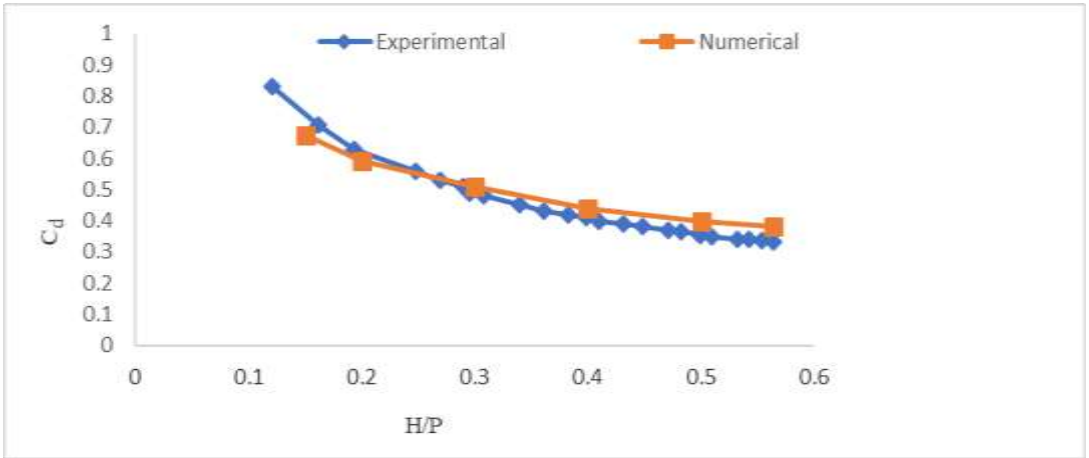
۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN



شکل(۳): ساختار سه‌بعدی جریان عبوری بر روی سرریز تک کلید تست شده به ازای H/P=۰,۳

شرایط مرزی مورد استفاده در شکل بر روی وجوه مختلف بلوک محاسباتی نمایش داده شده است. در وجه بالادست ضمن استفاده از شرط مرزی فشار، هد آب موردنظر به ورودی میدان اعمال‌شده و ضمن اعمال شرط مرزی خروجی به انتهای پایین‌دست بلوک محاسباتی، دبی خروجی از میدان به ازای هد اعمالی در ورودی محاسبه می‌شود. مرزهای کناری و بالای میدان از نوع متقارن بوده و در کف بلوک از شرط مرزی دیواره استفاده‌شده است برای صحت‌سنجی نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی، جریان بر روی سرریز کلید پیانویی PKW به ازای۶ هد مختلف اجراشده و دبی حالت دائمی در هر مدل تعیین و ضرایب دبی حاصله مطابق شکل (۴) با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شد. با توجه به شکل، روند و مقادیر دبی حاصل از مدلسازی عددی انطباق بسیار خوبی با داده‌های آزمایشگاهی دارد. در شکل (۳) نمای سه بعدی جریان عبوری از روی سرریز کلید پیانویی نشان داده شده است. در این تحقیق از پارامترهای معیار ضریب همبستگی و همچنین مجذور مربعات میانگین خطا جهت مقایسه و صحت سنجی استفاده شده است از آنجایی که مقدار مربعات میانگین خطا داده های حاصل از مدل عددی با مقدار ۰,۰۴۲۹۹۱۳۹۴ اختلاف اندکی با مقادیر آزمایشگاهی داشته و ضریب همبستگی بالا با مقدار R^2=۰,۹۹۶۱ نشانه‌ی تطابق قابل قبول منحنی‌های ضریب آبگذری هد به ارتفاع بین مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی است.

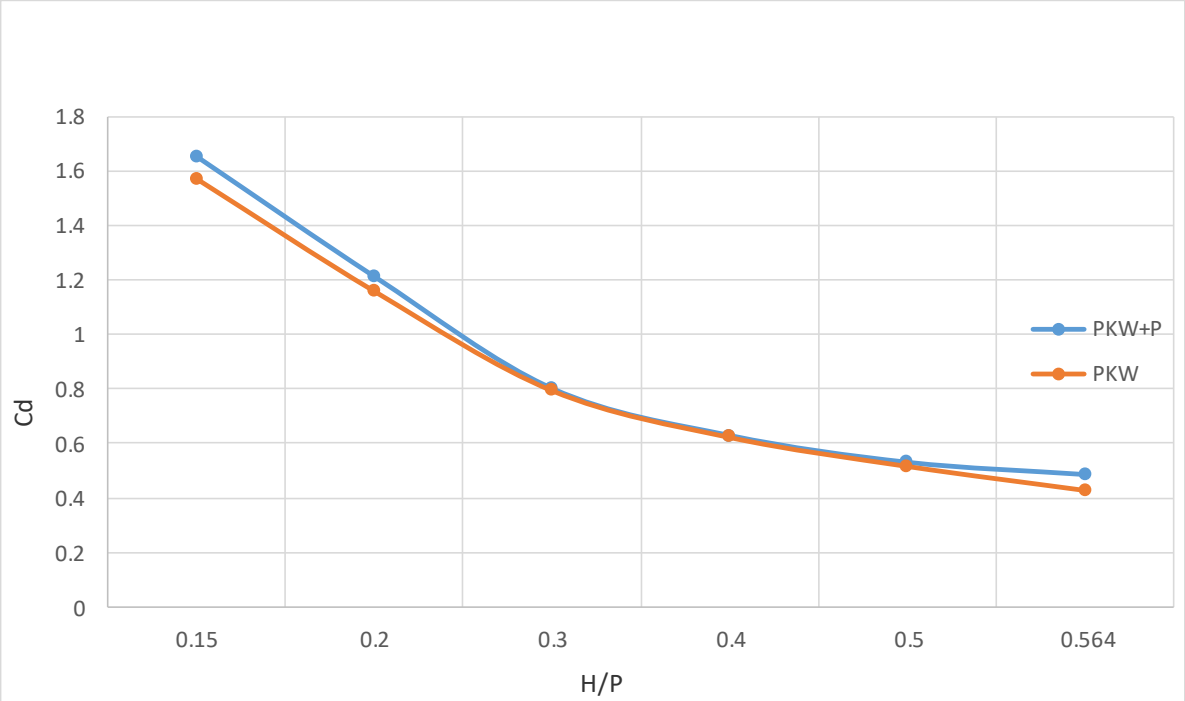
.



شکل(۴). منحنی ضریب دبی(C_d) در مقابل(H/P) مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی برای سرریزهای کلیدپیانویی

ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

۲۹۸۰-۷۷۸۶ISSN



شکل(۵). مقادیر C_d سرریز با نسبت تاثیر دیواره در برابر پارامتر بی‌بعدH/P

نتایج حاکی از آن است در سرریزهای کلیدپیانویی ایجاد دیواره باعث افزایش راندمان در هد های پایین شده، با افزایش هد آب از این افزایش راندمان کاسته می‌شود. در شکل(۵) دو نوع سرریز یکی با دیواره و دیگری بدون دیواره باهم مقایسه شده‌انـد. در نتیجه تفاوت ضریب دبی در نسبت‌های مختلف هد آب به ارتفاع سرریز در نمودار مشخص شد.

۵. نتیجه گیری

در این مقاله، با استفاده ازشبیه‌سازی‌های عددی، جریان بر روی سرریزهای کلید پیـانویی بـا پـاراپتوال مطالعـه شـده و ضـمن تشریح ساختار عمومی جریان، منحنی‌های ضرایب دبی آنها استخراج وتشریح گردید. و با توجه به شکل(۵) بهترین ضریب دبی در سرریز با پاراپتوال حاصل می‌شود. که نسبت به سرریز مبنا افزایش ۱۰ درصدی داشته است.

مراجع

۱. ماجدی اصل، م.۱۳۹۶.بررسی و ارزیابی تاثیر تغییرات پارامتر های هندسی بر عملکرد هیدرولیکی سرریز های کنگره ای و کلید پیانویی. پایان نامه دکترای تخصصی، مهندسی عمران-آب، دانشگاه تبریز

2. Tullis, B. P., Young, J. C., & Chandler, M. A. (2007). Head-discharge relationships for submerged labyrinth weirs. Journal of Hydraulic Engineering, 133(3), 248-254.
3. Anderson, R. M., & Tullis, B. P. (2012). Comparison of piano key and rectangular labyrinth weir hydraulics. Journal of Hydraulic Engineering, 138(4), 358-361.
4. Lempérière, F., & Ouamane, A. (2003). The Piano Keys weir: a new cost-effective solution for spillways. International Journal on Hydropower & Dams, 10(5), 144-149.
5. Laugier, F. (2007). Design and construction of the first Piano Key Weir spillway at Goulours dam. International journal on hydropower and dams, 14(5), 94.
6. Hien, T.C. Son, H.T., & Khanh, M.H.T. (2006). "Results of some piano keys weir hydraulic model tests in Vietnam." Proc. of the 22nd Congress of ICOLD, Barcelona, Spain.
7. Machiels, O., Pirotton, M., Pierre, A., Dewals, B., & Erpicum, S. (2014). Experimental parametric study and design of Piano Key Weirs. Journal of Hydraulic Research, 52(3), 326-335.
8. Ribeiro, M. L., Pfister, M., Schleiss, A. J., & Boillat, J. L. (2012). Hydraulic design of A-type piano key weirs. Journal of Hydraulic Research, 50(4), 400-408.
9. Kabiri-Samani, A., & Javaheri, A. (2012). Discharge coefficients for free and submerged flow over Piano Key weirs. Journal of hydraulic Research, 50(1), 114-120.
10. Safarzadeh, A., & Noroozi, B. (2017). 3D hydrodynamics of trapezoidal piano key spillways. International Journal of Civil Engineering, 15(1), 89-101.
11. Anderson, R. M., & Tullis, B. (2011, May). Influence of Piano Key Weir geometry on discharge. In proceedings of the International Conference Labyrinth and Piano Key Weirs (pp. 75-80).
12. Ghasemzadeh, F., (2015),) Simulation of hydraulic problems in flow 3D, "Navar Publications, Tehran, Iran.Clarke, S. (2001*). Information Systems Strategic Management*, Anintegrated approach, Routledge, Taylor & Francis Group, London & New York.