علوم و مهندسی آبیاری
جلد ۴۱، شماره‌ی۲، تابستان ۹۷، ص. ۱۰۵-۹۳

شبیه سازی عددی تأثیر رمپ هواده در کف و داکت در دیواره سرریز بر شاخص خلاءزایی سرریزها با استفاده از مدل Flow 3D

ابراهیم نوحانی[1*]، سهراب نصرالهی[2]، ادریس معروفی نیا[3] و یوسف حسن زاده[4]

۱*- نویسنده مسئول: استادیار گروه عمران، سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد دزفول، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، دزفول، ایران. nohani_e@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد عمران، سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی،واحد دزفول، دزفول، ایران.

۳- کارشناس ارشد عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مهاباد، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، مهاباد، ایران.

۴- استاد گروه مهندسی آب ، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تبریز، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۱ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۱/۴

چکیده

با افزایش جمعیت دنیا و لزوم کنترل و مدیریت منابع آب شیرین ساخت سدهای بزرگ گسترش یافته است. سرریز از اجزای مهم سد است و یکی از مهم‌ترین خطراتی که آن را تهدید می‌کند، خلاءزایی می‌باشد. یکی از راه‌های بررسی این مشکل و دیگر مسائل سرریزها ساخت مدل آزمایشگاهی است، اما با توجه به پیشرفت علم رایانه درعصر حاضر نرم‌افزارهایی برای مدل‌سازی جریان به‌صورت عددی تهیه شده که در کنار ساخت مدل‌های آزمایشگاهی برای بررسی رفتارسیالات مفید می‌باشند. رایج‌ترین راه مقابله با خسارت‌های ناشی از خلاءزایی، ساخت انواع هواده در مسیر جریان می‌باشد. هواده با ایجاد تغییرات در خصوصیات جریان و واردکردن هوا به داخل آن سبب کاهش و از بین رفتن خسارت‌های ناشی از این پدیده می‌شود. در این پژوهش جریان روی سرریز سد آزاد به‌صورت سه‌بعدی در نرم افزار Flow-3D مدل و سپس صحت نتایج نرم‌افزار با توجه به نتایج مدل فیزیکی بررسی شده و در ادامه تأثیر انواع رمپ هواده بر فاکتورهای مؤثر برخلاءزایی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج شاخص خلاءزایی و غلظت هوای موجود درجریان نشان می‌دهد که سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره، در رمپ اول ۲۲ درصد و در رمپ دوم به‌ترتیب ۲۲ و ۱۹ درصد شاخص خلاءزایی را افزایش دهد و با افزایش غلظت هوای داخل جریان در بدترین حالت به بیش از هفت درصد، به خوبی می‌تواند مانع ایجاد خسارت‌های ناشی از خلاءزایی در سرریز شود.

کلیدواژه‌ها: سرریز، خلاءزایی، رمپ هواده، غلظت هوای ورودی به جریان، Flow-3D.

مقدمه

با ساخت سدهای بزرگ و مرتفع با دبی سیلابی زیاد بررسی مسائل طراحی و پایداری این سازه اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. یکی از مهمترین اجزای یک سد، سرریز آن می‌باشد. پس از عدم برآورد دقیق ظرفیت سرریزها، خلاءزایی مهمترین عامل تهدید کننده پایداری سرریزها می‌باشد (Zandi, 2014). در مکان‌هایی که سرعت جریان سیال بالا می‌باشد، بر اثر ناهمواری های کف سرریز خطوط جریان از کف بستر جدا شده و در ناحیه زیرین جریان کاهش فشار رخ داده و فشار به حد فشار بخار آب می‌رسد، در نتیجه حباب‌های کاویتی در این ناحیه شکل گرفته و این حباب‌ها پس از انتقال به قسمت‌هایی با فشار بیشتر منفجر شده و چون سطح تماس حباب‌ها با بستر کوچک می‌باشد نیروی فوق العاده‌ای به بستر وارد شده که تکرار این مسئله سبب آسیب و نهایتاً تخریب کف سرریز می‌شود (Raisey, 2011). سازه‌هایی که باعث می‌شوند غلظت هوای داخل جریان افزایش یابد به شکل‌ها و ابعاد مختلفی طراحی و ساخته می‌شوند که رایج‌ترین شکل آن احداث رمپ در کف و داکت در دیواره می‌باشد. در این مدل هواده، رمپ باعث جدا شدن هوا از کف شده و داکت هوا، را به زیر پرش انتقال می‌دهد که به این وسیله تغییراتی در شریط جریان ایجاد شده و غلظت هوای داخل جریان بالا می‌رود که سبب کاهش و از بین رفتن خسارت‌های ناشی از خلاءزایی می‌شود. (Vosoughifar et al., 2005). Johnson (1963) نشان داد، در صورتی که خلاءزایی، درون هسته گردابه‌ها شکل گیرد، عدد خلاءزایی مقدماتی باید کمتر یا برابر یک باشد. Katz و O'hern(1986) در تحقیقات خود نشان دادند، شروع خلاءزایی مقدماتی در ساختمان سه‌بعدی و درون هسته جدا شده می‌باشد و نه در هسته‌گردابه‌ها. Tabbara et al. (2005) از نرم‌افزار ADINA برای پیش‌بینی عددی خصوصیات مهم جریان استفاده کرده و با استفاده از مدل K-ε یک فرآیند دو مرحله‌ای را برای بهینه ساختن شبیه‌سازی استفاده کردند که نتایج نشان از توانمندی مدل‌عددی در پیش‌بینی خصوصیات مهم جریان داشت. Savage وJohnson (2006) با مقایسه مدل عددی و فیزیکی جریان روی سرریز اوجی با در نظر گرفتن پایاب دریافتند مدل

عددی برای تعیین دبی و فشار جریان مفید می‌باشد. Aydin و Ozturk (2009) به بررسی عددی هواده دیواره و کف با مدل‌عددی پرداخته و نتایج را با نتایج مدل فیزیکی مقایسه و از اعتبار مدل عددی دفاع کرده و هم‌چنین اشاره کردند به‌منظور اعتبار مدل فیزیکی لازم است مقیاس مدل به دقت انتخاب شود. Dong، Wu و Zhang (2010) با کمک مدل ساخته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه ژیجانگ چین به تأثیر غلظت هوا مخلوط در جریان بر فشار کف و خلاءزایی پرداخته‌اند و به تأثیر مثبت غلظت هوا اشاره کرده‌اند. Khosrojerdy و Parhizgar (2012) به بررسی تأثیر ابعاد رمپ هواده برروی کاویتاسیون در سرریز شوت سدهای سیازاخ و گاوشان پرداختند. در تحقیق فوق پدیده کاویتاسیون و نحوه تأثیر سیستم‌های هواده برای جلوگیری از این پدیده برروی سرریز دو سد سیازاخ و گاوشان کشور ایران از طریق مدل فیزیکی آن‌ها بررسی گردید. نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان داد که درسرریز سد سیازاخ، تک سیستم هواده در نظر گرفته شده گزینه مناسبی در افزایش ضریب کاویتاسیون بوده و در سرریز سد گاوشان استفاده از تک سیستم هوادهی چندان تاثیری بر کاهش خطرات کاویتاسیون نداشته است. هم‌چنین تحقیقات محققین فوق نشان داد که هرچه ارتفاع رمپ هواده فاصله افقی رمپ هواده تا ابتدای سرریز نسبت ارتفاع به طول افقی رمپ هواده اختلاف ارتفاع بین ابتدا و انتهای سرریز و طول افقی سرریز کمتر باشد عملکرد سیستم هواده مناسب تر خواهد بود. DehdarBehbahani et al. (2011) به‌صورت عددی به کمک نرم‌افزار Flow-3D پدیده خلاءزایی را در سرریز سد بالارود مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که نتایج نرم‌افزار با نتایج مدل فیزیکی نزدیک بوده و اختلاف موجود ناشی از تفاوت در پارامترهای سرعت بوده که در مدل فیزیکی سرعت در عمق ۰/۲ متری به‌وسیله‌ی میکرومولینه اندازه‌گیری شده و در نرم‌افزار متوسط سرعت در راستای عمود بر جریان می‌باشد. و NasrEsfahani و ShafaiBajestan (2014) به بررسی پدیده کاویتاسیون در حوضچه آرامش با بستر زبر و پله ناگهانی پرداختند. در تحقیق فوق با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی خصوصیات پرش هیدرولیکی بر پله معکوس با بستر زبر پرداخته شد. نتایج تحقیق فوق نشان داد پیزومترهایی که در معرض برخورد مستقیم با جت آب قرار داشتند، دارای کمترین فشار و حتی فشارهای منفی هستند. Erfanain-Azmoudeh و Kamanbedast (2013) با نرم‌افزار Flow-3D روی محل نصب هواده در سرریز گتوند کار کردند که نتایج نشان داد، نرم‌افزار توافق خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی دارد و چهار کانال هواده‌ی راست و چپ برای پیشگیری از خلاءزایی در سرریز گتوند کافی است. Kermani et al. (2013) برای بررسی کاویتاسیون در مطالعه موردی روی سد شهید عباسپور، با استفاده از دو پارامتر عدد کاویتاسیون و سرعت جریان، میزان خسارت را در پنج سطح از بدون خسارت تا خسارت عمده دسته بندی نمودند. هردو روش، خسارت شدید در پایین سرریز را نشان دادند .با این وجود شاخص کاویتاسیون پیش بینی بهتری از سطح کاویتاسیون ارائه می دهد. Mahdavi Meymand و Ahadiyan (2015) به مقایسه روش‌های آماری، تجربی، شبکه عصبی و ترکیبی فازی- عصبی در برآورد هوای مورد نیاز هواده سرریز پرداختند. پس از برآورد دبی هوای مورد نیاز هواده سرریز با استفاده از روش‌های ذکرشده، خطای روش‌های مختلف محاسبه گردید و عملکرد آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش ترکیبی عصبی فازی بهترین عملکرد را دارا می‌باشد. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر چند نوع هواده در جلوگیری از کاویتاسیون می‌باشد. در این تحقیق فاکتورهای مؤثر بر شاخص کاویتاسیون یعنی سرعت، فشار و هم‌چنین میزان هوای وارد شده به جریان در پنج حالت بدون هواده، با رمپ در کف، با رمپ کف و داکت در دیواره، با رمپ در دیواره و هم‌چنین با وجود رمپ در کف و دیواره مورد بررسی قرار گرفته تا کارایی هر کدام از این هواده‌ها در سرریز مشخص شود و سپس تعیین شود کدام یک از این سیستم‌های هوادهی می‌تواند برای جلوگیری از کاویتاسیون در سرریزها مفیدتر باشد.

مواد و روش‌ها

سد مورد مطالعه

سد مخزنی آزاد در شمال غربی ایران در استان کردستان، شهرستان مریوان در مسیر رودخانه چم‌گوره از سرشاخه‌های مهم رودخانه آزاد در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۳۲ دقیقه طولی در فاصله ۸۱ کیلومتری شهر سنندج در نزدیکی روستای بنیدر قرار گرفته است. نوع سد خاکی با هسته نفوذ ناپذیر رسی بوده که البته در مرحله اجرا، مصالح بدنه سد تغییر داده شده و سد به‌صورت سنگریزه‌ای با هسته رسی اجرا شده است. تراز آستانه سد ۱۴۸۰ متر بالاتر از سطح دریا و تراز بستر رودخانه ۱۳۶۲ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. ارتفاع سد از بستر رودخانه ۱۱۸ متر، عرض آستانه سد ۱۴ متر و طول آستانه سد ۵۹۸ متر می‌باشد. سیستم تخلیه‌ی سیلاب شامل کانال ورودی، سرریز دریچه‌دار، تندآب، پرتاب کننده و پایاب پرتاب کننده می‌باشد که در سمت چپ بدنه‌ی سد جانمایی گردیده است، تراز آستانه‌ی سرریز ۱۴۶۵ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. عرض ناخالص سرریز ۳۰ متر و عرض خالص آن ۲۴ متر است که با دو دیواره‌ی جدا کننده‌ی میانی و دیواره‌های کناری سرریز به سه قطعه هشت متری تقسیم شده است. دبی ورودی به‌وسیله سه دریچه‌ای که در ابتدای هر قطعه قرار دارد کنترل می‌شود. تندآب این سرریزمستطیل شکل با عرض ثابت ۳۰ متر ساخته شده، شیب ابتدای تندآب ۵ درصد و شیب بخش اصلی ۳۶,۴ درصد می‌باشد که این دو قطعه بوسیله‌ی کمانی برابر ۱۷,۱ درجه از دایره‌ای به شعاع ۱۰۰ متر به هم متصل شده‌اند.تراز کف و انتهای پرتاب کننده به ترتیب ۱۳۸۳,۴۰ و ۱۳۸۴,۵۰ متر بالاتر از سطح دریا

می‌باشد. تراز پایاب نیز ۱۳۸۰ متر بالاتر از سطح دریا واقع شده و تراز بستر رودخانه در ۱۳۶۲ متری بالای سطح دریا قرار گرفته است.

مدل آزمایشگاهی سرریز مورد مطالعه

مدل هیدرولیکی سد، با با مقیاس سه درصد ابعاد واقعی ۱:۳۳/۳۳ ساخته شده است. مدل هیدرولیکی سیستم تخلیه‌ی سیلاب سد مخزنی آزاد توسط موسسه تحقیقات آب با مقیاس ۱:۳۳/۳۳ ($\frac{۳}{۱۰۰}$) ساخته شده است. دو سیستم هواده مشابه در فواصل ۱۶۵ متر و ۲۱۰ متر اجرا شده است. ارتفاع رمپ بکار رفته ۰/۵ متر و دارای زاویه ۷ درجه می‌باشد. رمپ دارای طول افقی ۳/۷۵ متر است. این مدل از سه قسمت تشکیل شده که عبارتند از:

۱- مخزن بالا: متشکل از جزئی از دریاچه، بدنه سد و کانال ورودی

۲- اجزاء تخلیه سیلاب: متشکل از سرریز دریچه‌دار، تندآب و پرتاب کننده

۳- مخزن پایاب: متشکل از آبراهه‌ی پایاب و قسمتی از رودخانه

مدل از تراز حداقل، ۱۳۴۰ متر بالاتر از سطح دریا، منطبق بر کف سالن هیدرولیک تا تراز آستانه سد ۱۴۸۰ متری از سطح دریا با مقیاس ۱:۳۳/۳۳ اجرا گردیده است. ابعاد سرریز و اجزای آن مضربی از یک بوده چراکه اگر ابعاد مش‌بندی مضربی از یک نباشد باعث می‌شود شکل سرریز بعد از مش‌بندی غیر واقعی شود. شکل (۱) تصاویری از مدل ساخته شده از سد مذکور در مرکز تحقیقات آب در حالتی که رمپ هواده و داکت مدل شده رانشان می‌دهد. در سرریز اولیه آزمایش برای دبی‌های معادل ۵۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۲۶، ۱۵۴۵ و ۱۸۰۰ مترمکعب برثانیه‌ی سرریز واقعی، انجام گرفته ولی بعد از اجرای هواده به جای دبی ۱۸۰۰ مترمکعب برثانیه دبی ۲۲۹۰ مترمکعب برثانیه به عنوان حداکثر دبی، مورد آزمایش قرار گرفته است. لازم به ذکر است با توجه به مقیاس مدل این دبی در مدل آزمایشگاهی، برابر ۳۵۷ لیتر بر ثانیه است. یکی دیگر از مشخصه‌های مهم جریان که در طراحی سازه مورد نیاز است، سرعت جریان می‌باشد که در ۰/۶ عمق آب از سطح، عمود بر سطح تندآب، با استفاده از لوله پیتو اندازه‌گیری شد. عمق آب نیز بوسیله‌ی مدرج کردن دیواره‌ی سازه و خطکش اندازه‌گیری شد. نوسانات فشار (فشار دینامیکی) بوسیله‌ی پردازش اطلاعات پیزومتریک بوسیله‌ی رایانه انجام گردید. دبی مدل، به‌وسیله‌ی دو دستگاه پمپ از منابع ذخیره‌ی آب سالن هیدرولیک تامین گردید. اندازه‌گیری دبی در پایاب مدل با استفاده از سرریز مستطیلی انجام پذیرفت.

معادله پیوستگی

برای جریان تراکم پذیر داریم:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\overline{\rho\, u_i}) + \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\overline{\rho' u_i'}\right) \qquad (۱)$$

برای جریان تراکم ناپذیر از آنجایی که $\rho' = 0$ می‌باشد، معادله فوق به‌صورت رابطه (۲) در خواهد آمد:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \qquad (۲)$$

معادلات مومنتوم

$$\frac{\partial \overline{Ui}}{\partial t} + (\overline{Uj})\frac{\partial \overline{Ui}}{\partial xj} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial \overline{P}}{\partial xi} + g_{xi} + \frac{\partial}{\partial xj}\left[\nu \frac{\partial \overline{Ui}}{\partial xj} \quad \overline{U_I' U_J'}\right] \qquad (۳)$$

در روابط فوق، $\rho\bar{u}_i\bar{u}_j$: تنش رینولدز، U : سرعت جریان، t: زمان **۷:** ویسکوزیته مولکولی، P: فشار، ρ: چگالی سیال و δij: دلتای کرونکر می‌باشند.



شکل۱- تصاویری از مدل فیزیکی سرریز سد آزاد

شاخص کاویتاسون

شاخص کاویتاسیون نسبت افت فشار لازم برای تبخیر آب، به پتانسیل کاهش فشار جریان از طریق انرژی جنبشی است و به‌صورت رابطه (۴) محاسبه می شود:

$$\sigma = \frac{P-P_v}{\frac{1}{2}\times\rho\times U^2} = \frac{P-P_v}{\frac{v^2}{2g}} \qquad (۴)$$

که در این رابطه P_v :فشار بخار سیال عبوری از سریز در دمای محیط یا ارتفاع معادل فشار بخار آب (برابر با ۰/۲۳ متر)، ρ: جرم حجمی سیال، U: سرعت متوسط جریان، v: سرعت جریان (متر بر ثانیه) و p: فشار محلی (ارتفاع معادل فشار مطلق جریان (متر) در یک نقطه) است که از رابطه (۵) محاسبه می گردد:

$$P = P_0 + P_g \qquad (۵)$$

که در این رابطه P_0: فشار اتمسفر و P_g: فشار پیزومتریک می باشد. طبق تحقیقات انجام گرفته و نتایج ارائه شده به وسیله USBR در صورتی که اندیس خلازایی بیشتر از ۰/۲۵ باشد پدیده‌ی خلازایی به وجود نمی‌آید، زمانی که اندیس خلازایی بین ۰/۲۰ تا ۰/۲۵ باشد، پدیده‌ی خلازایی خسارت اندکی خواهد داشت که در نظر گرفتن هواده الزامی نمی‌باشد و در نقاطی که این اندیس کمتر از ۰/۲ باشد، احتمال وقوع این پدیده زیاد است. تجربیات نشان داده اگر عدد خلازایی بین ۰/۱ تا ۰/۲ باشد وجود سیستم هواده که در ادامه شرح داده خواهد شد، برای جلوگیری از خسارت‌های احتمالی ضروری است و در صورتی که اندیس خلازایی کمتر از ۰/۱ باشد، تمهیداتی که در ادامه آورده خواهد شد برای جلوگیری از خسارت‌های ناشی از خلازایی کافی نبوده و سرریز نیاز به طراحی مجدد دارد. با توجه به داشتن سرعت و فشار از یکی از فرمول‌های ارائه شده برای به‌دست آوردن شاخص کاویتاسیون استفاده می‌شود:

$$\delta = \frac{H_a + H_o - H_v}{\frac{V_0^2}{2g}} \qquad (۶)$$

در رابطه (۶) داریم:

H_a: ارتفاع معادل فشار اتمسفر که طبق اطلاعات آورده شده در مدل آزمایشگاهی در اینجا برابر ۱۰/۳۳ متر ستون آب در نظر گرفته می‌شود.

H_o: ارتفاع معادل فشار پیزومتریک کف سرریز (زیر جریان) است.

H_v: ارتفاع معادل فشار بخار آب که طبق اطلاعات آورده شده در مدل آزمایشگاهی در اینجا برابر ۰/۳۳ متر ستون آب در نظر گرفته می‌شود. V: سرعت جریان بر حسب متر بر ثانیه و g: شتاب ثقل که ۹/۹۸۱ در نظر گرفته می‌شود. پس از محاسبه شاخص کاویتاسیون از داده‌هایی که در اختیار داریم برای مدل آزمایشگاهی و مدل عددی مشاهده می‌شود.

مدل آشفتگی RNG

مدل RNG منظور مدل کردن حرکت در مقیاس‌های کوچکتر و تاثرات آنها به وسیله نرمال‌سازی مجدد معادله‌ها ناویرستوکس گسترش داده شده است. در مدل استاندارد K-ε، لزجت گردابی به‌وسیله یه مقیاس طول آشفتگی منفرد تعیین می‌شود، بنابراین پخش آشفتگی محاسبه شده تنها در مقیاس های مخصوصی اتفاق می افتند. در حالی که در واقعیت، همه مقیاس های حرکت در پخش آشفتگی شرکت دارند. روش RNG یک ابزار ریاضی برای استخراج مدل آشفتگی شبیه به مدل K-ε است، منجر به یک قالب اصطلاح شده از معادلات اپسیلون میشود که برای محاسبه مقیاس های متفاوت حرکت، از طریق تغییرات در عبارت های معادله اپسیلون مورد استفاده قرار می‌گیرد.

روابط ورود هوا

مدل انتقال آشفتگی بر اساس انرژی جنبشی آشفتگی، q و تابع استهلاک D طبقه‌بندی می‌شوند. طول مشخصه گردابه‌های آشفتگی با رابطه (۷) به‌دست می‌آید:

$$L_t = \frac{cnu\sqrt{1.5q^3}}{D} \qquad (۷)$$

از این مقیاس برای مشخص کردن آشفتگی‌های سطحی استفاده می‌شود. انرژی جنبشی آشفتگی بر واحد سطح به همراه المان سیال که تا ارتفاع L_t با استفاده از رابطه بالا به‌دست می‌آید (رابطه ۸).

$$P_d = \rho g_n L_t - \frac{\sigma}{L_t} \qquad (۸)$$

که در آن ρ چگالی سیال، σ ضریب تنش سطحی و g_n مولفه‌ی شتاب گرانش در جهت عمود بر سطح آزاد می‌باشد، برای اینکه هوا وارد جریان شود، می‌بایست انرژی جنبشی آشفتگی در واحد حجم، از P_d بیشتر باشد، یعنی نیروی آشفتگی برای غلبه بر نیروی تعادل سطحی، به اندازه‌ی کافی بزرگ باشد. حجم هوای وارد شده در واحد زمان δV، می‌بایست متناسب با مساحت سطح سیال A_s و ارتفاع سیال بر روی تراز متوسط سطح جریان باشد. برای این منظور:

$$\delta V = C_{air}.A_s.\left(\frac{2(P_t-P_d)}{\rho}\right)^{0.5} \qquad (۹)$$

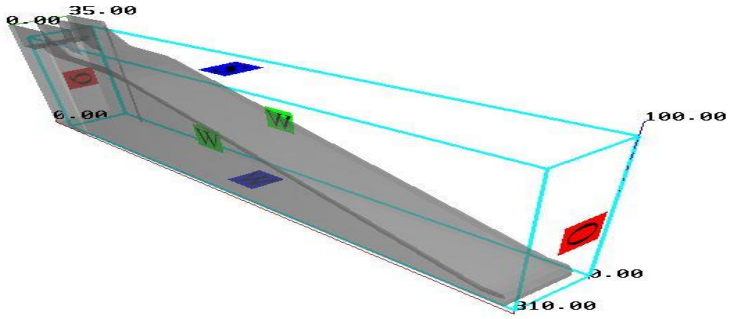
که در این رابطه، C_{air} یک ضریب نسبت می‌باشد. اگر P_t کمتر از P_d باشد، δV برابر صفر خواهد بود. انتظار می‌رود که ضریب C_{air} کمتر از واحد باشد، زیرا قسمتی از حجم آشفتگی که به سطح رسیده است؛ توسط هوا اشغال می‌شود.

مدل عددی و معادلات حاکم بر جریان

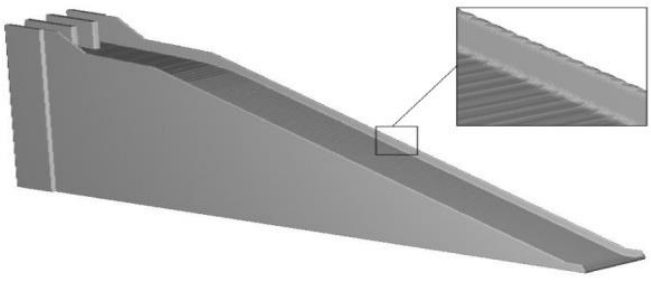
FLOW-3D نرم‌افزاری قوی در زمینه‌ی دینامیک سیالات می‌باشد یکی از قابلیت‌های عمده‌ی این برنامه برای تحلیل‌های هیدرولیکی، توانایی مدل کردن جریان‌های با سطح آزاد به روش احجام محدود می‌باشد. FLOW-3D، از یک شبکه متشکل از سلول‌های مستطیلی استفاده می‌کند. این شبکه دارای مزایایی برای تولید آسان، منظم و مناسب برای بهبود بخشیدن به شبیه‌سازی عددی است که به کمترین ذخیره‌ی حافظه احتیاج دارد. FLOW-3D شامل الگوهای فیزیکی مختلفی می‌باشد که عبارتند از: آب‌های کم عمق، لزجت، خلاءزایی، آشفتگی، کشش سطحی و محیط‌های متخلخل. با توجه به شرایط مختلفی که برای کنترل شرایط مدل نرم افزار بررسی شد، زمانی که تنها یک بلوک برای مش‌بندی استفاده شود، نتایج دقیق‌تری حاصل می‌شود. بلوک مش‌بندی استفاده شده در راستای X، بین ۲۰ تا ۳۱۰، در راستای Y، بین ۰ تا ۳۵ و در راستای Z ، بین ۳ تا ۹۴ واقع شده است. شرایط مرزی در راستای X_Min ورودی سیال (Volume flow rate)، در راستای X_Max خروجی سیال (Out flow) در راستای Y_Min، Y_Max و Z_Min دیوار (Wall) و در راستای Z_Max تقارن یا همان ادامه سیال (Symmetry) در نظر گرفته شده است. شکل (۲) سرریز را همراه با بلوک مش‌بندی و شرایط مرزی در حالت سه‌بعدی نشان می‌دهد. ابعاد مش‌بندی در مدل ۰/۵ متری در نظر گرفته شده، زیرا زمانی که ابعاد مش ۰/۲۵ متر باشد، تعداد مش‌ها خیلی زیاد می‌شود و رایانه مورد استفاده قادر به اجرای برنامه نمی‌باشد و با توجه به اندازه اجزای سرریز مخصوصاً رمپ، استفاده از ابعاد مش ۰/۴۵ ، ۰/۴و ۰/۳۵ متری نتایج مناسبی در برنداشته و شکل سرریز غیر واقعی‌تر از مش‌بندی ۰/۵ متر شد. با توجه به ابعاد مش‌بندی و اینکه خطوط سلول‌ها به علت تراکم، در تصویر سرریز قابل مشاهده نیست از آوردن تصویر سلول‌های مش‌بندی خودداری شده ولی شکل سرریز را در حالت FAVOR آورده شده است. شکل (۳) سرریز تشکیل شده در حالت FAVOR (شکلی از سرریز که با توجه به مش‌بندی در نرم‌افزار ساخته می‌شود) و جزئیات لبه سرریز را نشان می‌دهد.

سرریز با رمپ کف

مدل سرریز با رمپ در کف مانند سرریز اولیه است، به‌علاوه دو رمپ هواده که در کف قرار گرفته‌اند. زاویه رمپ نسبت به شیب کف سرریز هفت درجه می‌باشد، با توجه به اینکه فاصله نقطه شروع تا پایان رمپ ۳/۷۶ متر می‌باشد، اختلاف ارتفاع رمپ در نقطه پایانی ۰/۵ متر است.



شکل ۲- سرریز بلوک دار و مش‌بندی و شرایط مرزی

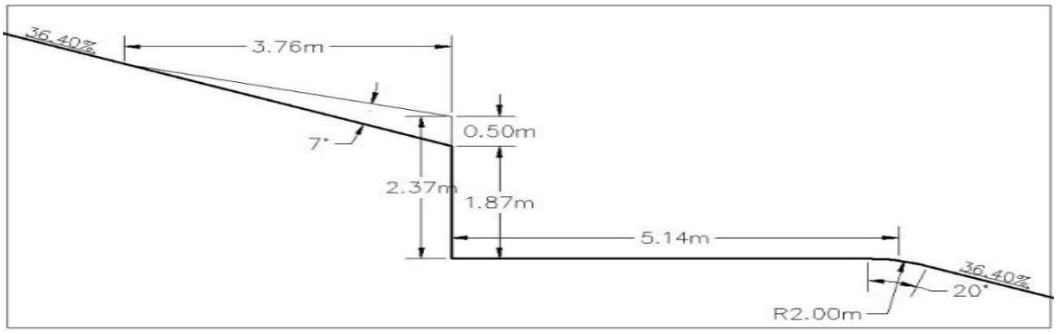


شکل ۳- سرریز تشکیل شده در حالت FAVOR

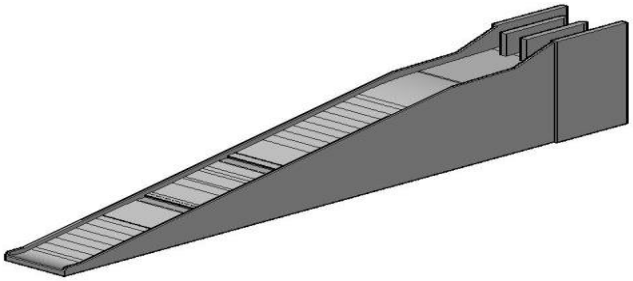
پس از اتمام رمپ پله‌ای وجود دارد که از کف سرریز ۱/۸۷ متر پایین‌تر است که با احتساب ارتفاع رمپ مجموع اختلاف ارتفاع روی رمپ تا کف پله ۲/۳۷ متر می‌باشد. کف پله به‌صورت افقی ادامه پیدا می‌کند تا سطح سرریز را قطع کند. طول افقی پله (بریدگی) ۵/۱۴ متر می‌باشد. انتهای پله با کمانی به طول ۲۰ درجه از دایره‌ای به شعاع دو متر به کف سرریز متصل شده است. شکل (۴) شکل رمپ و اندازه اجزای آن را نشان می‌دهد. این رمپ در دو نقطه از سرریز قرار گرفته که فاصله آن‌ها از شروع سرریز به ترتیب ۱۶۵ و ۲۱۰ متر و از نقطه صفر مدل برابر ۱۸۵ و ۲۳۰ متر می‌باشد. تصویر سرریز با رمپ در کف در شکل (۵) آورده شده است.

سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره

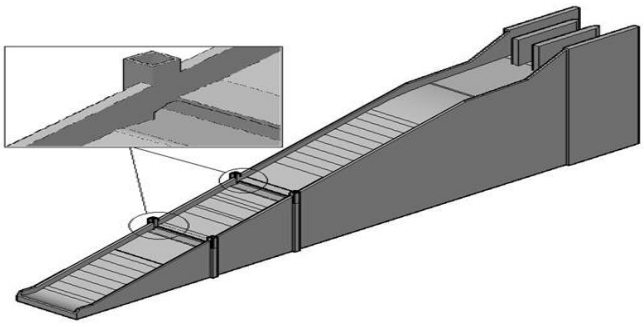
مدل سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره مانند سرریز با رمپ کف می‌باشد، اما در دیواره دو طرف سرریز، دو داکت (مجرا) برای رساندن هوا به بریدگی بعد از رمپ کف قرار داده شده است. شکل (۶) سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره را نشان می‌دهد. پس از محاسبه شاخص خلاءزایی از داده‌هایی که در اختیار داریم برای مدل آزمایشگاهی و مدل عددی مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از مدل عددی تناسب خوبی با نتایج مدل آزمایشگاهی داشته و حداکثر اختلاف آن‌ها مثبت ده درصد (۱۰+) و منهای پنج درصد (۵-) می‌باشد که تایید کننده صحت نتایج مدل عددی است. نتایج سرعت، فشار و شاخص خلاءزایی برای مدل آزمایشگاهی و مدل عددی سرریز، مورد مطالعه قرار گرفت و مقایسه شد. میزان عمق آب روی سرریز در نقاط مختلف در مدل آزمایشگاهی و مدل عددی در دبی‌های مختلف نیز تطابق خوبی با هم داشته.



شکل ٤- رمپ و اندازه اجزای آن



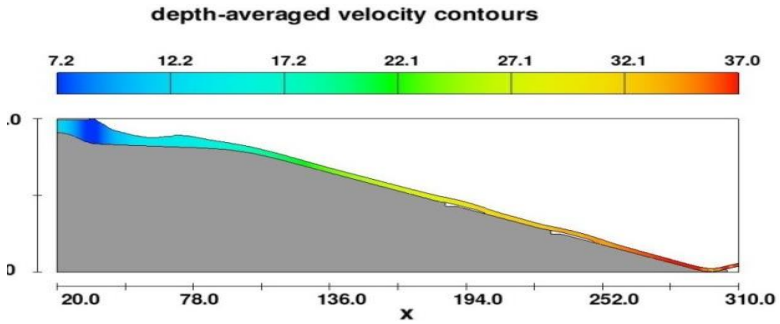
شکل ٥- سرریز با رمپ در کف



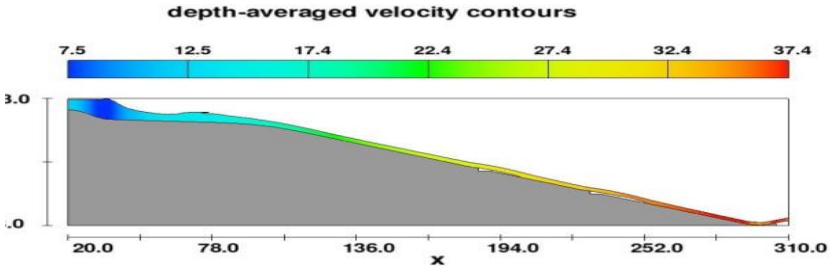
شکل ٦- سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره

نتایج و بحث

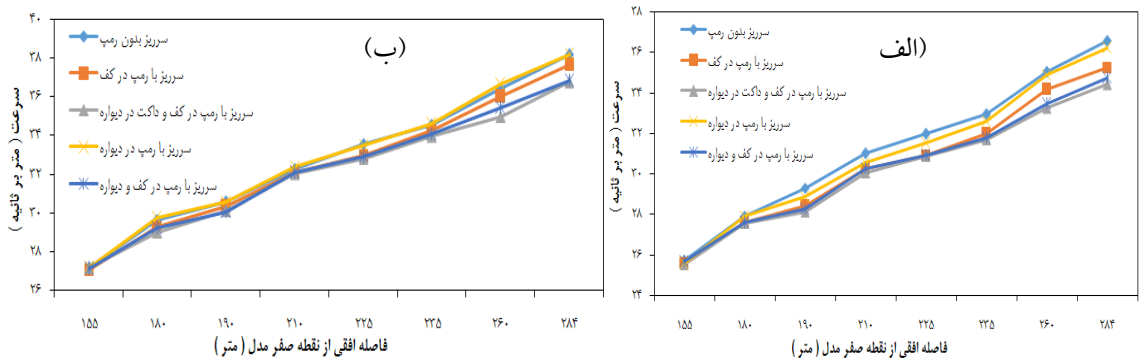
نتایج مربوط به سرعت در سرریز که متوسط سرعت در راستای عمود بر جریان در میانه سرریز در راستای y می‌باشد، به‌صورت شکل و نمودار در هشت نقطه در طول سرریزدر ادامه ارائه شده است. شکل (۷) سرعت در سرریز با رمپ در کف، شکل (۸) سرعت در سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره را که از نرم‌افزار برای دبی ۲۲۹۰ مترمکعب برثانیه در میانه سرریز در راستای y استخراج شده نشان می‌دهد. با توجه به رنگ‌بندی انجام شده می‌توان به تغییرات سرعت در قسمت‌های مختلف در راستای طولی سرریز پی‌برد. در ادامه در شکل (۹) مقایسه سرعت در مدل‌های مختلف در دبی ۲۲۹۰ و ۱۵۴۵ مترمکعب بر ثانیه آورده شده است. همان‌طور که درشکل‌های ارائه شده مشاهده می‌شود، ایجاد رمپ تأثیر چشمگیری بر سرعت نداشته اما با توجه به فرمول محاسبه شاخص خلاءزایی همان تأثیر اندک هم در افزایش شاخص خلاءزایی و کاهش احتمال خلاءزایی مؤثر می‌باشد. با توجه به نتایج استخراج شده از نرم‌افزار سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره و سرریز با رمپ در کف و دیواره بیشترین تأثیر را بر کاهش سرعت در میانه سرریز دارند. با توجه به بحرانی بودن خلاءزایی در میانه سرریز، فشار در راستای y در میانه سرریز و در راستای طولی در هشت نقطه مورد بررسی قرار گرفته و نتایج مربوط به فشار در کف سرریز (زیر جریان) به‌صورت نمودار در ادامه آورده شده است. شکل (۱۰) مقایسه فشار در مدل‌های مختلف در دبی ۲۲۹۰ مترمکعب بر ثانیه را نشان می دهد. با توجه به داشتن سرعت و فشار در میانه سرریز در هشت نقطه در طول سرریز میزان شاخص خلاءزایی محاسبه و در قالب شکل‌های در ادامه ارائه و در مدل‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفته است؛ در شکل (۱۱) مقایسه شاخص خلاءزایی در مدل‌های مختلف در دبی ۲۲۹۰ مترمکعب بر ثانیه آورده شده است. در سرریزهایی که رمپ کف وجود دارد تصویر جزئیات هوای وارده در قسمت هواده نیز آورده شده است. با دقت در رنگ‌بندی مربوط به غلظت هوا، غلظت هوا در قسمت‌های مختلف هواده و نقاط ورود هوا قابل مشاهده می‌باشد. شکل (۱۲) غلظت هوای وارده برای سرریز با رمپ کف و در کف و دیواره آورده شده است. رمپ دیواره کمترین تأثیر را بر هوادهی جریان در میانه‌ی سرریز داشته و رمپ کف زمانی که به همراه داکت یا رمپ در دیواره باشد، تأثیر بهتری بر هواده‌ی دارد. در قسمت بعدی، مقایسه غلظت هوای وارده شده به جریان در سرریزهای مختلف در دو دبی مورد بررسی به‌صورت گراف آورده شده؛ شکل‌های (۱۴) و (۱۵) غلظت هوای وارد شده به کف جریان در مقاطع عرضی در فاصله ۱۵۵متری از صفر مدل برای انواع سرریزبه ترتیب در دبی‌های ۱۵۴۵ و ۱۲۲۶مترمکعب برثانیه را نشان داده است. هر چه دبی سرریز کمتر شود، با توجه به نکته بیان شده در بالا یعنی کاهش ضخامت جریان، هوای بیشتری از لایه رویی به عمق جریان نفوذ می‌کند و درصد هوای وارد شده به جریان بیشتر می‌شود این نکته نیز به‌صورت واضح در نمودارها قابل مشاهده است.



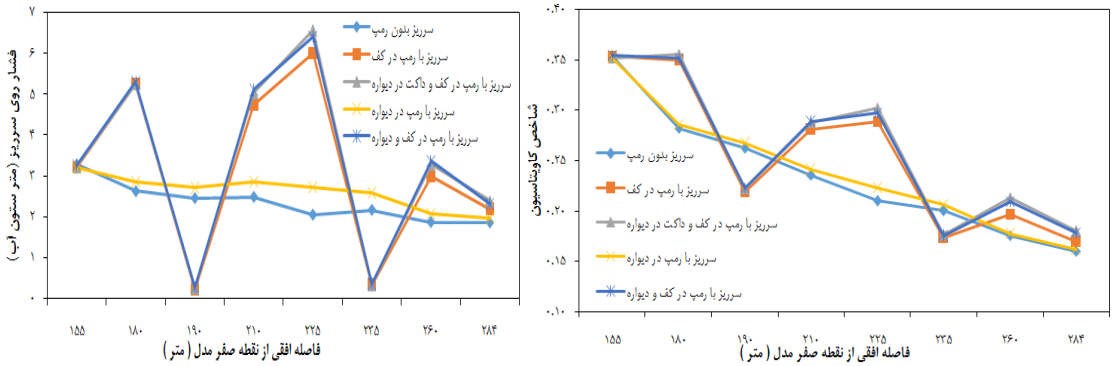
شکل ۷- سرعت در سرریز با رمپ در کف در دبی ۲۲۹۰ مترمکعب برثانیه



شکل ۸- سرعت در سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره در دبی ۲۲۹۰ مترمکعب برثانیه

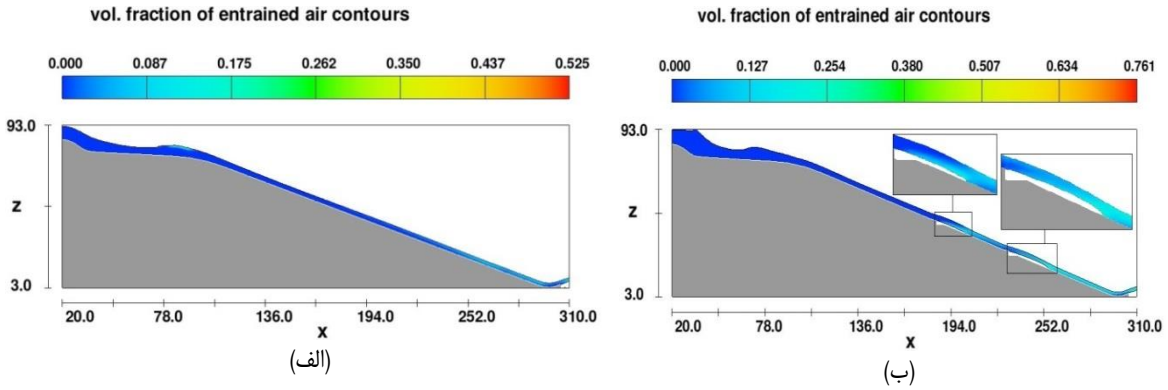


شکل ۹- مقایسه سرعت در مدل‌های مختلف در دبی: الف) ۱۵٤۵ مترمکعب بر ثانیه؛ ب) ۲۲۹۰ مترمکعب بر ثانیه

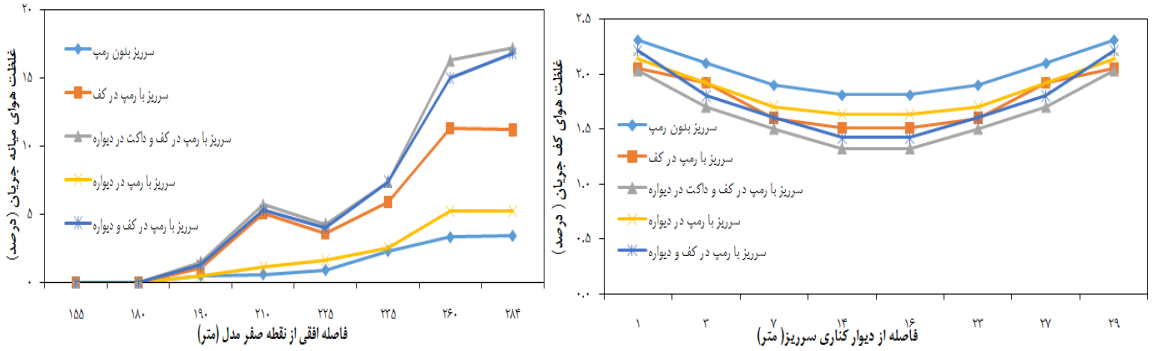


شکل ۱۰- مقایسه فشار در دبی $\frac{m^3}{s}$ ۲۲۹۰

شکل ۱۱- مقایسه شاخص خلاءزایی در دبی $\frac{m^3}{s}$ ۲۲۹۰

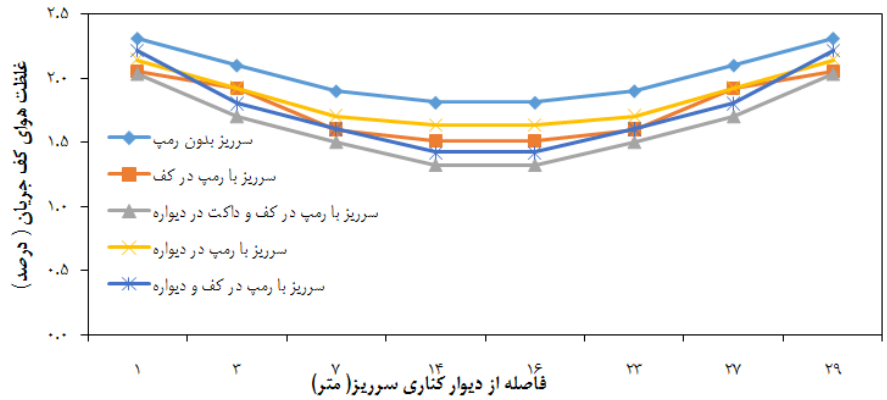


شکل ۱۲- غلظت هوای وارد شده به جریان در الف) با رمپ در دیواره و ب) سرریز با رمپ در کف ودیواره



شکل ۱۳- غلظت هوای وارده به جریان در دبی $\frac{m^3}{s}$ ۲۲۹۰

شکل ۱٤- غلظت هوای کف جریان در دبی $\frac{m^3}{s}$ ۱۵٤۵



شکل ۱۵- غلظت هوای کف جریان در مقاطع عرضی در دبی ۱۲۲۶ مترمکعب برثانیه در ۱۵۵متری از صفر مدل

نتیجه‌گیری

در این تحقیق جریان روی سرریز سد آزاد به‌صورت سه‌بعدی در نرم افزار Flow-3D مدل و سپس صحت نتایج نرم‌افزار با توجه به نتایج مدل فیزیکی بررسی شد، سپس تأثیر انواع رمپ هواده بر فاکتورهای مؤثر برخلاءزایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره در نقطه بعد از رمپ اول میزان هوای داخل لایه زیرین جریان را ۲۲ برابر و در نقطه بعد رمپ دوم ۶/۵ برابر سرریز بدون رمپ بالا برده است. سرریز با رمپ در کف و دیواره در رمپ اول غلظت هوا در لایه زیرین را ۱۸/۵ برابر و بعد از رمپ دوم ۵/۷ برابر کرده است. سرریز با رمپ در کف، در محل بررسی شده بعد از رمپ اول ۱۸ برابر و در محل مورد بررسی، بعد از رمپ دوم ۵/۴ برابر غلظت هوا را نسبت به حالت بدون رمپ بالا برده است که البته شاید این دو مقدار بیش از مقدار واقعی باشد، زیرا ابعاد مش‌بندی طوری است که سطح کف و دیواره یکنواخت مدل نشده و باعث می‌شود، در مدل عددی هوا از دیواره به زیر رمپ وارد شود.

در این مدل (رمپ کف) که در حالت واقعی هیچ فضایی برای انتقال هوا به کف وجود ندارد، در این مدل مقداری هوا از کناره دیواره به کف وارد شده و غلظت هوا بیش از مقدار واقعی نشان داده می‌شود. با توجه به اینکه با کاهش دبی ضخامت جریان کاهش پیدا می‌کند و نفوذ هوا به داخل سیال راحت‌تر انجام می‌شود، در نتیجه با کاهش دبی تأثیر رمپ هواده بر افزایش غلظت هوای داخل جریان نسبت به حالت بدون رمپ کاهش می‌یابد. با در نظر گرفتن این نکته که در قسمتی که رمپ اول واقع شده، نفوذ طبیعی هوا به داخل جریان نسبت به مقطعی که رمپ دوم قرار دارد، کمتر است؛ تأثیر رمپ اول بیش از رمپ دوم بوده و در افزایش غلظت هوا نسبت به سرریز بدون رمپ موفق‌تر است. بررسی پروفیل عرضی غلظت هوای وارد شده به جریان نشان می‌دهد، سرریز با رمپ در دیواره برای سرریزهای کم عرض می‌تواند مفید باشد. در اینجا به نظر می‌رسد این عرض۸ تا۱۰ برابر اندازه بیرون زدگی رمپ می‌باشد. که البته نتیجه‌گیری قطعی در مورد آن نیاز به بررسی بیشتر دارد. سرریز با رمپ در کف و دیواره در نقاط نزدیک به رمپ با توجه به اغتشاشی که رمپ دیواره در جریان ایجاد می‌کند، در نفوذ هوا به داخل جریان عملکرد مطلوب‌تری نسبت به سرریز با رمپ در کف و داکت در دیواره دارد، اما با فاصله گرفتن از رمپ ها با توجه به عدم یکنواختی توزیع هوا، غلظت کاهش پیدا کرده و در مجموع عملکرد سرریز با داکت در دیواره بهتر می‌باشد.

منابع

1- Aydin, M.C. and Ozturk, M., 2009. Verification and validation of a computational fluid dynamics (CFD) model for air entrainment at spillway aerators. *Canadian Journal of Civil Engineering*, *36*(5), pp.826-836.

2- DehdarBehbahani, p., FathiMoghaddam, M., Hosseini, h. and Fazelipour, Sh., 2011. Investigation of the Cavitation phenomenon during a jet projectile using a FLOW-3D model. *10th Iranian Hydraulic Conference. University of Guilan, Guilan, Iran.* (In Persian) .

3- Dong, Z., Wu, Y. and Zhang, D., 2010. Cavitation characteristics of offset-into-flow and effect of aeration. *Journal of hydraulic research*, *48*(1), pp.74-80.

4- Erfanain-Azmoudeh, M.H. and Kamanbedast, A.A., 2013. Determine the appropriate location of aerator system on Gotvandoliadam's spillway using Flow 3D. *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, *13*(3), pp.378-383.

5- Johnson, M.C. and Savage, B.M., 2006. Physical and numerical comparison of flow over ogee spillway in the presence of tailwater. *Journal of hydraulic engineering*, *132*(12), pp.1353-1357.

6- Johnson, V., 1963. Mechanics of cavitation. *Journal of the Hydraulics Division*, *89*(3), pp.251-275.

7- Katz, J. and O'hern, T.J., 1986. Cavitation in large scale shear flows. *Journal of fluids engineering*, *108*(3), pp.373-376.

8- Kermani, E.F., Barani, G.A. and Ghaeini-Hessaroeyeh, M., 2013. Investigation of cavitation damage levels on spillways. *World Applied Sciences Journal*, *21*(1), pp.73-78.

9- Khosrojerdy, A. And Parhizgar, V.Z., 2012. Investigating the Effect of Away Ramp Dimension on the Negative Impact of Shaft Overflow of Siahaz and Dagashan Dam. In *11th Iranian Hydraulic Conference, University of Orumieh, Orumieh, Iran.* (In Persian) .

10- Mahdavi Meymand, A., Ahadiyan, J. 2015. Evaluation of Statistical, Empirical, Neural Networks and Neural – Fuzzy Techniques for Estimation of Spillway Aerators. *Irrigation Sciences and Engineering*, 38(3), pp. 51-61. (In Persian) .

11- Nasr Esfahani, M., Shafai-Bajestan, M. 2014. Investigation of Cavitation at the Roughened Bed of Abrupt Drop Stilling Basin. *Journal of Hydraulics*, 8(2), pp. 29-40. (In Persian).

12- Raisey, Z., 2011. *The phenomenon of Cavitation*. Zagros-Tehran. (In Persian) .

13- Tabbara, M., Chatila, J. and Awwad, R., 2005. Computational simulation of flow over stepped spillways. *Computers & structures*, *83*(27), pp.2215-2224.

14- Vosoughifar, H., Abdollahi, R., Shabanipour. Z., 2005. *Location of cavitation in the weir heights*. Aria-Zamin. (In Persian) .

15- Zandi, Y., 2014. *Cavitation in overflow*. Islamic Azad University-Tabriz. (In Persian)

Irrigation Sciences and Engineering Vol. 41, No. 2, Summer 2018, p. 93-105

Shahid Chamran University of Ahvaz

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Simulation of Aerator ramp influence at Bed and Spillway's Wall Duct on Vacuum Creation Index using Flow 3D Model

E. Nohani[1*], S. Nasrolahi[2], E. Merufinia[3] and Y. Hassanzadeh[4]

1*- Corresponding Author, Assistant professor ,Department of Hydraulic Structures, Young Researchers and Elite Club, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran. *(nohani_e@yahoo.com).*

2-Department of hydraulic Structures, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran.

3-Young Researchers and Elite Club, Mahabad Branch, Islamic Azad University, Mahabad, Iran.

4- Professor, Department of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran.

Received:1 March 2016 Accepted:23 January 2017

Keywords: Input air concentration to flow, Spillway, Aerator Ramp, Vacuum creation.

Abstract

In the present research, the flow on a free dam is modeled in 3D environment of Flow-3D software, then the software results were validated in comparison with results obtained from the physical model. Finally, the effect of various types of ramps on effective factors of vacuum creation was scrutinized. The results for vacuum creation index and air concentration existing within the flow revealed that a spillwaywith ramp at the bed and a wall equipped with duct, and a spillway with ramp at bed and wall, leads to %22, %22 and %19 increase in vacuum creation index, respectively.

Introduction

In places where the flow velocity is high, due to the unevenness of the spillway bed , the streamlines are separated from the bed, and at the downstream area, the pressure drop occurs and ultimately leads to the destruction of the spillway bed (Raesi, 2011). Jonson (1963) showed that, if the vacuum is formed inside the vortex core, the initial value of the vacuum should be less than or equal to one. Ohern and Katz (1986) have shown in their research that the beginning of the initial vacuum is in the three-dimensional structure inside the nucleus and not in the nuclei of the circuits. Savage and Johnson (2006) have found that a numerical model is useful for determining the flow rate and flow pressure by comparing the numerical and physical model of the flow over the Ojee spillway. Zhang, Wu and Dong (2010), with the help of the model made in the Hydraulic Laboratory of the University of Zhijiang, have studied the effect of air mixture in flow on the surface pressure and vacuum, and showed to have a positive effect on air concentration. ShafaiBajestan and NasrEsfahani (2014) investigated the cavitation phenomenon at the stilling basin with a rough bed and an abrupt drop. In this study, factors affecting the index of cavitation like velocity, pressure and the amount of air into the stream in five states of without aeration, with ramps on the bed, with ramps on the bed and wall duct, with a ramp in the walls, and also with a ramp on the bedand the wall was examined.

Methodology

The dam hydraulic model was built with a scale of 3 percent of the real dimensions 1: 33.33. The hydraulic model of the free reservoir dam flood control system was constructed by the Water

Research Institute with a scale of 1: 33.33 (100.3). Two similar aeration systems have been implemented at distances of 165 meters and 210 meters. The ramp height is 0.5 m and has a 7-degree angle (Fig. 1).



Figure 1- The Physical Model of Free dam spillway

FLOW-3D is powerful software in the field of fluid dynamics. One of the major capabilities of this software for hydraulic analysis is the ability to model free-surface flow by finite volume method. Since the distance from the starting point to the end of the ramp is 76.3 m, the ramp height difference at the end point is 0.5 m. The floor of the stairs continues horizontally to stop the overflow surface. The horizontal length of the stairs is 5.14 meters. The bottom of the abruptdrop is arranged 20 degrees in length from a circle with a two meters radius to the spillway bed. Figure 4 shows the shape of the ramp and the size of its components. The ramp is located at two points of intersection: the distance from the start of the overflow is 165 and 210 meters, and from the zero point of the model are 185 and 230 meters. The overflow image with a ramp on the floor is shown in figure 2.

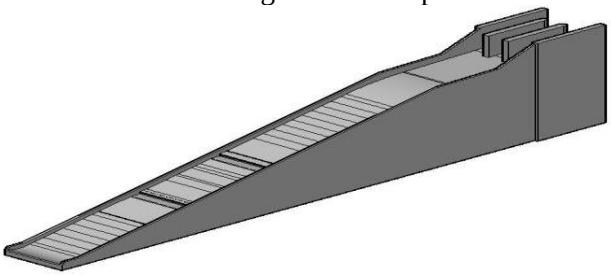


Figure 2 - Spillway with ramp on the floor

Results and discussion

The result of the spillway velocity, in which the mean velocity is in the vertical direction over the flow in the middle of the spillway along y, is presented as a figure and diagram at eight points over the spillway. Depending on the color, the velocity changes in different parts can be found in the longitudinal direction of the spillway. As ca be seen in the presented form, the ramp does not have a significant effect on velocity, but according to the formula for calculating the quadratic index, the same effect has little effect on the increase of the index and the reduction of the probability of the quasi-efficiency. According to the results obtained from the spillway software with ramps in the floor and duct in the wall and overflow with ramp on the floor and wall, they have the greatest impact on

the slump in the middle of the spillway. Due to the criticality of the vacuum in the middle of the overflow, the pressure along the y in the middle of the overflow and in the longitudinal direction in eight points has been investigated and the results of the pressure in the overflow floor (below flow) are shown in the diagram below.

Conclusions

In this study, the flood-free flow spillway flow was 3D-based in Flow-3D software and then the accuracy of the software results was evaluated according to the results of the physical model. spillway with a ramp on the floor and wall in the first ramp, the air concentration in the bottom layer is 18.5 times and after the second ramp 7.5 times. The overflow with the ramp on the floor, at the checked location after the first ramp, is 18 times higher and in the area under investigation, after the second ramp, it has increased 4.5 times the air concentration compared to the ramp-free state, which maybe the two values exceed the actual amount, because the mesh sizes are such that the bed surface and the uniform wall are not modeled and cause the numerical model of the air to enter the wall from below the ramp.

References

1- Johnson, M.C. and Savage, B.M., 2006. Physical and numerical comparison of flow over ogee spillway in the presence of tailwater. *Journal of hydraulic engineering*, *132*(12), pp.1353-1357.

2- Katz, J. and O'hern, T.J., 1986. Cavitation in large scale shear flows. *Journal of fluids engineering*, *108*(3), pp.373-376.

3- Nasr Esfahani, M., Shafai-Bajestan, M. 2014. Investigation of Cavitation at the Roughened Bed of Abrupt Drop Stilling Basin. *Journal of Hydraulics*, 8(2), pp. 29-40. (In Persian) .