

بررسی عددی اثر تغییر منحنی استاندارد سرریزهای سه جانبی در بهبود عملکرد هیدرولیکی آنها

حامد تقی زاده^۱، ابوالفضل ارزنلو^{۲*}، نازیلا کاردان^۳

- ۱- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ارومیه
۲- دانشجوی دکتری مهندسی عمران-مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز
۳- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

*a.arzanlou.eng@iauctb.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۶/۰۶/۲۷]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۱۲/۲۱]

چکیده

سرریزهای سه‌جانبی از جمله مجراهای تخلیه‌کننده سدها بوده که با وجود محدودیت‌های هیدرولیکی، در شرایط خاص توپوگرافی به عنوان بهترین انتخاب مطرح می‌شوند. سرریزهای سه‌جانبی دارای برخی شرایط هیدرولیکی نامناسب هستند که به‌عنوان نمونه می‌توان به تلاطم و آشفتگی جریان، اتلاف انرژی و نیز وارد آمدن ضربات نوسانی شدید آب بر تمامی وجوه سرریز اشاره کرد. در این پژوهش شبیه‌سازی عددی میدان جریان سه‌بعدی پیرامون سرریز جانبی U شکل و آبپایه واقع در انتهای کانال جانبی با استفاده از نرم افزار Flow3D مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه با پله‌ای نمودن منحنی استاندارد سرریز اوجی سه‌جانبی، میزان تغییر در عمق جریان و نوسانات فشار دینامیکی در کانال جانبی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای بررسی کمی نوسانات فشار دینامیکی از عدد بدون بعد پارامتر آشفتگی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد پلکانی نمودن منحنی استاندارد این نوع سرریز موجب کاهش برخورد سفره‌های ریزشی جریان و افزایش عمق جریان در کانال جانبی می‌شود. از سویی دیگر تغییر منحنی استاندارد، کاهش قابل توجه شدت نوسانات فشار در داخل کانال جانبی را به دنبال دارد.

واژگان کلیدی: سرریز سه‌جانبی، عملکرد هیدرولیکی، منحنی پلکانی، شبیه‌سازی عددی.

۱- مقدمه

همراه است و تکیه‌گاه دارای شیب تند بوده و پی سنگی خوبی نیز موجود باشد، کاربرد این سرریزها بهترین انتخاب است [1]. با توجه به پیچیدگی هندسه این نوع از سرریزها، الگوی جریان عبوری از سرریز بسیار پیچیده بوده، از این‌رو روش جامعی برای طراحی آنها ارائه نشده است. برای موارد کاربردی، در

سرریزهای سه‌جانبی از جمله مجراهای تخلیه‌کننده سدها هستند که با وجود محدودیت‌های هیدرولیکی، در شرایط خاص توپوگرافی به عنوان بهترین انتخاب مطرح می‌شوند. در مناطقی که محدود کردن ارتفاع سد با طولیل شدن تاج سرریز

اغلب موارد سعی گردیده تا یک مدل هیدرولیکی از سرریز ساخته شده و با تغییر در پارامترهای هیدرولیکی آن، به ارائه طرح بهینه سرریز سه‌جانبی اقدام گردد. در این نوع سرریزها، جریان از بخش قوسی سرریز به داخل کانال ریخته شده و به جریان آب داخل کانال کمک می‌کند. هدف این جریان انتقال سریع امواج و آشفتگی‌های داخل کانال جانبی به داخل تنداب است تا جریانی که به حوضچه پایینی هدایت می‌شود جریان مستهلک شده باشد [2].

مطالعات بسیار زیادی در زمینه پارامترهای مؤثر و نیز رابطه غالب بر جریان روی سرریزهای جانبی انجام یافته است. به عنوان نمونه می‌توان به پژوهش‌های هیند [3]، فارنی و مارکوس [4]، ین و ونزل [5]، برمن و هاگر [6]، کوچک زاده و وطن‌خواه [7]، کوچک زاده و همکاران [8] اشاره نمود. با وجود این، در زمینه سرریزهای سه‌جانبی مطالعات محدودی انجام یافته و بیشتر در پژوهش‌های انجام یافته به شناخت عملکرد هیدرولیکی این سرریزها پرداخته شده است. از مطالعات انجام شده در ارتباط با سرریزهای سه‌جانبی می‌توان به مطالعات نواک و همکاران [9] و مطالعات موسسه تحقیقات آب [10, 11] اشاره نمود. در مطالعات فارنی و مارکوس [4]، نایت [12] و دهدار بهبانی و پارسائی [13] ضریب تخلیه و میزان آب‌گذری چند مدل از این نوع سرریزها مورد بررسی قرار گرفته و نمودارهایی برای ضریب تخلیه ارائه شده است. موسسه تحقیقات آب نیز به بررسی شکل آب‌پایه، ارتفاع و محل نصب آن و نیز تراز کف کانال جانبی در مدل‌های هیدرولیکی سرریزهای سد شهید یعقوبی، جره و سیوند پرداخته است. منتظر و صالحی نیشابوری [2] به صورت آزمایشگاهی تعدادی از پارامترهای مؤثر بر عملکرد هیدرولیکی سرریزهای سه‌جانبی را بررسی نموده و مطالعات کامل‌تری روی این سرریزها انجام دادند. بیشتر این مطالعات آزمایشگاهی مبتنی بر شرایط ایده-ال‌سازی شده است و اعمال شرایط پیچیده در مدل‌سازی آزمایشگاهی مشکل خواهد بود. بر این اساس، یک گزینه مناسب برای بررسی جریان در هندسه‌های پیچیده، بهره‌گیری از مدل‌های عددی است.

نرم‌افزار Flow3D یک مدل عددی برای شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان در هندسه‌های پیچیده است که توسط شرکت Flow

Science در سال ۲۰۰۸ ارائه شده است. در ادامه مطالعات انجام یافته با نرم‌افزار Flow3D در زمینه سرریزهای سه‌جانبی ارائه شده است، اگرچه مطالعات عددی در زمینه شبیه‌سازی عددی جریان روی سرریزهای سه‌جانبی اندک است؛ تقی زاده و همکاران [14] با بهره‌گیری از مدل عددی Flow3D ضریب آب‌گذری سرریزهای سه‌جانبی را مورد بررسی قرار داده و نشان داد که با افزایش ارتفاع جریان روی سرریز، مقدار ضریب آب‌گذری سرریزها به مقدار ثابتی میل می‌کند. فرهودی و همکاران [15] به مطالعه عددی اثر ورود هوا به جریان دوفازی در سرریز U شکل پرداختند. ایشان نشان دادند مدل‌های فیزیکی در پیش‌بینی ورود هوا به جریان مناسب نیستند و میزان هوای وارد شده وابسته به عدد رینولدز است و از تشابه فرودی تبعیت نمی‌کند.

در این پژوهش ایده پلکانی نمودن منحنی استاندارد سرریزهای سه‌جانبی مطرح شده است. استفاده از منحنی اوجی پله-ای به جای منحنی اوجی استاندارد در سرریزها به عنوان یک راه-حل قابل قبول برای استهلاک انرژی جریان مورد توجه قرار گرفته است [16]. این نوع از سرریز به دلیل فراهم نمودن بستر زبر مصنوعی، موجب افت انرژی جنبشی جریان شده و نیز به علت هوادهی جریان عبوری می‌تواند تا حدود بسیار زیادی از پدیده خلازایی جلوگیری نماید. همچنین به لحاظ هیدرودینامیکی، پراکنش انرژی به دلیل انتقال مومنتم بین حجم‌های سیال یا تنش برشی آشفتگی بین جریان آرام و جریان‌های چرخشی در راستای محور افقی صورت می‌گیرد. در سرریزهای سه‌جانبی، پلکانی نمودن منحنی استاندارد سرریزهای سه‌جانبی، موجب استهلاک انرژی جریان آب و کاهش سرعت جریان ورودی از اطراف به داخل کانال جانبی شده و شدت برخورد لایه‌های ریزشی جریان را کاهش می‌دهد که متعاقباً این مساله کاهش تلاطم جریان در داخل کانال جانبی را به همراه دارد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ نرم‌افزار Flow3D

برای شبیه‌سازی عددی معادلات حاکم بر جریان‌های آشفتنه، از بسته نرم‌افزاری Flow3D استفاده شده است که توانایی محاسبات بالا در جریان کانال‌های باز را داراست. در این مدل عددی،

رامهرمز در استان خوزستان ساخته شده است. طرح اولیه برای سرریز این سد، سرریز از نوع سه‌جانبی بوده است لیکن با توجه به افزایش تراز تاج سد برای تامین مطمئن نیاز آبی منطقه، نوع سرریز، به سرریز دریچه‌دار تغییر یافته است. طول کل تاج سرریز ۲ متر بوده که وجه بالادست آن قوسی یک دایره به شعاع ۲۴/۱۴ سانتی‌متر و زاویه مرکزی ۱۶۴ درجه و طول ۱/۱۸ متر است [9]. با توجه به اینکه به ازای دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه، عمق آب بر روی سرریز ۲/۲ سانتی‌متر است، همچنین دبی طراحی در مدل ۱۷۷ لیتر بر ثانیه است، این دو دبی به عنوان کمینه و بیشینه دبی انتخاب شدند. از این‌رو نتایج آزمایشگاهی دبی‌های ۱۱، ۵۵، ۱۱۳ و ۱۷۷ لیتر بر ثانیه مورد استفاده قرار گرفت. برای دستیابی به مقادیر صحیح نتایج عددی و منطبق بر نتایج آزمایشگاهی، رسیدن جریان به شرایط پایدار و دائمی ضروری است. در مدل عددی حاضر پس از بررسی مدل‌های مختلف، برای اجرای برنامه ۴۰ ثانیه مورد نظر قرار گرفت. در شکل (۱) چگونگی عبور جریان از روی سرریز در بازه‌های زمانی مختلف نشان داده شده است. در شکل (۲) نیز تغییرات دبی عبوری از روی سرریز (دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه) با گذشت زمان ارائه شده است. حساسیت مدل عددی به اندازه سلول‌های میدان محاسباتی بر حسب اندازه‌گیری عمق جریان در دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. حساسیت مدل عددی به اندازه سلول‌های محاسباتی

Type	Number	MAE	R ²
Coarse ©	10 × 30 × 25	0.0899	0.67
Medium (M)	15 × 40 × 30	0.0408	0.75
Fine (F)	25 × 60 × 45	0.0237	0.89
Very Fine (VF)	30 × 70 × 50	0.0225	0.90

Table 1. Sensitivity of numerical model to mesh size

برای محاسبه میزان خطا در محاسبات رابطه R² و MAE^۳ به کار برده شده است. این روابط به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - \hat{y}_i| \quad (۵)$$

^۳Mean Absolute Error

معادلات حاکم بر جریان با استفاده از تقریب‌های حجم محدود حل می‌شود. در این روش میدان محاسباتی به شبکه‌هایی با سلول‌های مستطیلی تقسیم‌بندی می‌شود که برای هر سلول میانگین کمیت‌های وابسته وجود دارد. در این نرم‌افزار از دو تکنیک عددی حجم سیال^۱ و روش کسر مساحت-حجم^۲ مانع برای شبیه‌سازی هندسی مرزها استفاده می‌شود. مدل هیدرودینامیک بر مبنای حل معادلات ناویر استوکس سه‌بعدی و معادله پیوستگی است. معادلات ناویراستوکس و پیوستگی استفاده شده در Flow3D برای جریان‌های غیرقابل تراکم در ادامه آمده است [17]:

$$\frac{\partial}{\partial X_i} U_i A_i = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + \frac{1}{V_f} \left(U_j A_j \frac{\partial U_i}{\partial X_j} \right) = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial X_i} + G_i + f_i - \rho V_f f_i \quad (۲)$$

$$\rho V_f f_i = \tau_{b,i} - \left[\frac{\partial}{\partial X_j} (A_j S_{ij}) \right], \quad S_{ii} = -2\mu_{tot} \left[\frac{\partial U_i}{\partial X_i} \right], \quad (۳)$$

$$S_{ij} = -\mu_{tot} \left[\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right]$$

در روابط فوق، U_i سرعت متوسط، P فشار، A_i کسر مساحت باز برای جریان در راستای i ، V_f کسر حجم باز برای جریان، G_i شتاب ناشی از نیروهای وزنی، f_i شتاب ناشی از نیروهای ویسکوز، k ترم دراگ بین ذرات رسوب، S_{ii} تانسور نرخ تنش، $\tau_{b,i}$ تنش برشی دیواره، ρ دانسیته سیال، μ_{tot} ویسکوزیته دینامیکی کل، μ ویسکوزیته دینامیکی و μ_t ویسکوزیته آشفتگی است. در تعیین سطح آزاد به روش حجم سیال از یک تابع به نام جزء حجم سیال F استفاده می‌شود [18].

۲-۲- درستی آزمایشی نتایج مدل عددی

حساسیت مدل‌های عددی به شبکه‌بندی و انفعال میدان حل همواره یکی از مسائل مهم در مدل‌های عددی بوده است. در این پژوهش برای بررسی درستی نتایج مدل عددی از داده‌های آزمایشگاهی مدل هیدرولیکی سرریز سه‌جانبه سد جره (۱۳۷۵) موجود در مؤسسه تحقیقات آب استفاده شده است [10]. سد جره روی رودخانه زرد رود و در ۳۵ کیلومتری شمال شرقی شهرستان

^۱Volume of Fraction (VOF)^۲Fractional Area/Volume Obstacle Representation (FAVOR)

شبیه‌سازی عددی جریان روی سرریز سه‌جانبی با سه مدل آشفتگی انجام یافته و نتایج به دست آمده با نتایج تجربی موجود برای عمق جریان در دبی ۱۱۳ لیتر بر ثانیه مقایسه شده است. شکل (۴) مقایسه نتایج را نمایش داده و در جدول (۳) نیز مقایسه مدل‌های آشفتگی بر حسب خطای R^2 و MAE ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد توانایی مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ RNG در شبیه‌سازی آشفتگی‌های جریان بیش از دو مدل دیگر است. این مدل دارای ویژگی‌ها و برتری‌های خاصی نسبت به مدل $k-\varepsilon$ استاندارد و $k-\omega$ است؛ این مدل به واسطه داشتن ترم اضافی در معادله مومنتم، برای تحلیل جریان‌های آشفته سریعاً کرنش یافته و جریان‌های روی سطوح با انحناهای زیاد، بهبود یافته است [19].

که y_i عمق آزمایشگاهی جریان و y_i عمق به دست آمده از شبیه‌سازی عددی است. با افزایش تعداد سلول‌ها از میزان خطای محاسباتی کاسته می‌شود، لیکن افزایش تعداد سلول‌ها از حالت ریز به حالت بسیار ریز نه تنها موجب بهبود نتایج نمی‌شود، بلکه مدت زمان شبیه‌سازی را نیز افزایش می‌دهد؛ پس بر حسب مقادیر R^2 و MAE، شبکه‌بندی نوع F انتخاب شده است. شبکه‌بندی میدان محاسباتی در پلان، در شکل (۳) ارائه شده است. برای انفصال میدان از دو بلوک محاسباتی استفاده شده که در مجموع شامل ۶۰۰۰۰ سلول می‌شود. در جدول (۲) سایر مشخصات مدل عددی نشان داده شده است. برای اعمال آثار آشفتگی جریان، سه مدل آشفتگی مهم در نرم افزار Flow3D وجود دارد؛ مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد، مدل $k-\varepsilon$ RNG و مدل $k-\omega$.

شکل ۱. عبور جریان از روی سرریز سه‌جانبی در زمان‌های مختلف

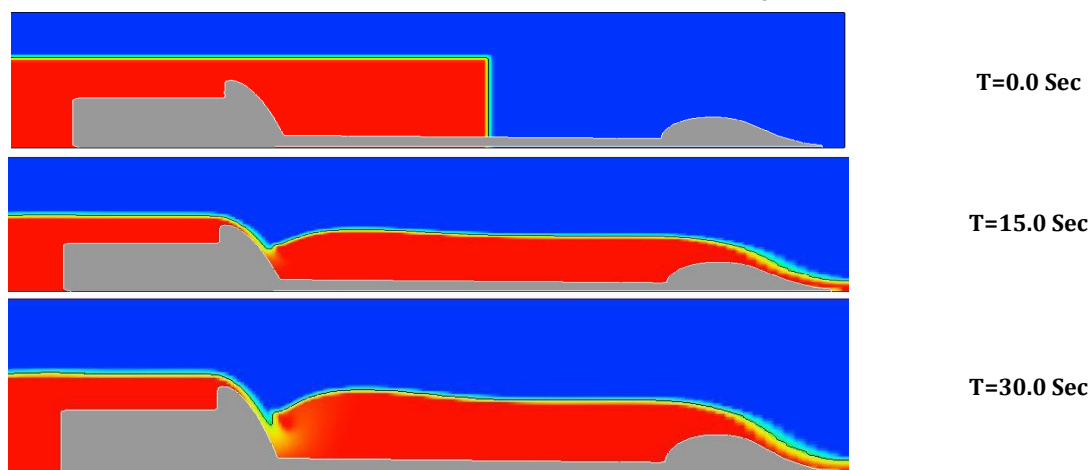


Fig. 1. Discharge over three sided spillway at different running times

شکل ۲. تغییرات دبی عبوری از روی سرریز (دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه)

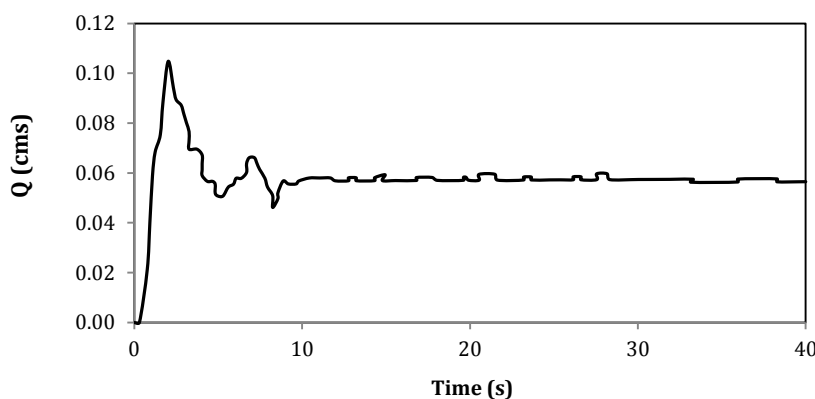


Fig. 2. Variation of discharge over spillway (in discharge of 55 lit/sec)

جدول ۲. مشخصات مدل عددی

Boundary Condition				Equations			
Body of Spillway	Side Boundary	Inlet	Outlet	Turbulence Model	Pressure Algorithm	Free Surface	Time Step
Solid	Symmetry	Velocity	Discharge	RNG	GMRES	VOF	0.01

Table 2. Characteristics of numerical modeling

۳-۲ بررسی الگوی جریان

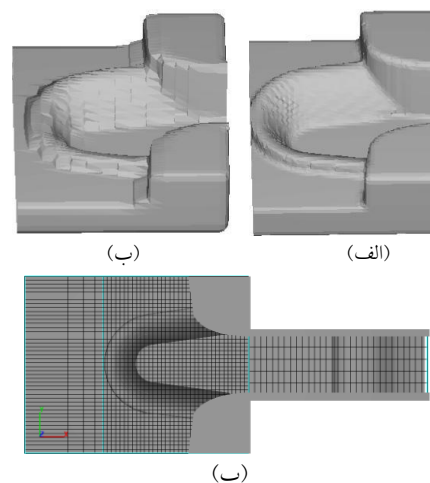
مقایسه منحنی سطح آب در محور مرکزی بین داده‌های آزمایشگاهی [10] و نتایج عددی در شکل (۵) نمایش داده شده است. با توجه به این شکل، منحنی جریان پس از عبور از تاج سرریز وارد کانال جانبی شده و یک برآمدگی در سطح جریان که گرده‌ماهی (Bulge) نامیده می‌شود تشکیل می‌شود. عامل اصلی تشکیل این برآمدگی، تداخل جریان با سفره‌های ریزشی جانبی بوده که موجب می‌شود مومتم جریان ورودی در جهت عمود بر جریان محوری، به فشار تبدیل شده و به صورت افزایش عمق جریان ظاهر شود. جدول (۴) مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

جدول ۴. مقادیر خطای R^2 برای نتایج عددی

Q [lit/sec]	11	55	113	177
R^2	0.89	0.90	0.90	0.92

Table 4. Value of R^2 for numerical results

در شبیه‌سازی عددی جریان به‌ازای چهار مقدار مختلف دبی، متوسط مقدار خطای R^2 در حدود ۰/۹۱ است که قابل قبول است. با توجه به مقادیر عددی منحنی جریان، بیشترین خطا در محاسبات از لحاظ مکانی در ناحیه تشکیل گرده‌ماهی مشاهده می‌شود زیرا این ناحیه دارای آشفتگی شدید جریان بوده و ناحیه پرتلاطمی است. همچنین بیشترین میزان خطا در دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه رخ داده است. با توجه به اینکه افزایش عمق جریان مهم‌ترین عامل در کاهش نوسانات فشار و بهبود جریان در کانال جانبی است، از این‌رو به‌ازای مقادیر کم دبی، عمق جریان در کانال جانبی کم بوده و جریان دارای اغتشاش و نوسانات زیادی است که منجر به بروز خطای نسبتاً قابل توجهی در دبی‌های کم می‌شود.

شکل ۳. تأثیر اندازه سلول‌ها بر مدل در مرزهای جامد (الف) $25 \times 60 \times 45$ (ب) $10 \times 30 \times 25$ (پ) شبکه‌بندی سرریز سه‌جانبی در پلانFig. 3. Effect of cells size on numerical modeling near the solid boundaries (a) $25 \times 60 \times 45$ (b) $10 \times 30 \times 25$ (c) meshing of three sided

شکل ۴. تأثیر مدل‌های آشفتگی بر تغییرات عمق جریان به‌ازای دبی ۱۱۳ لیتر بر ثانیه

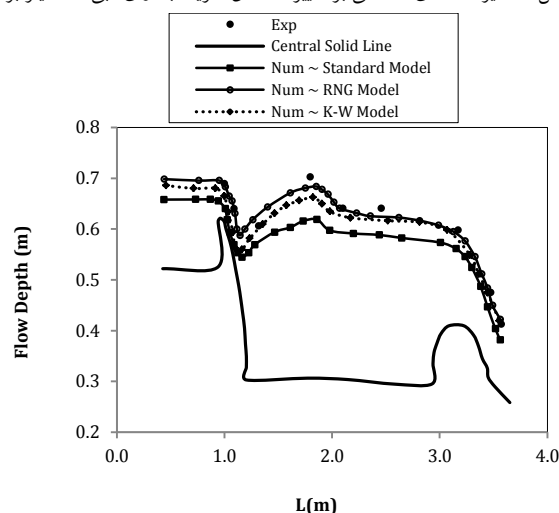


Fig. 4. Effect of turbulence models on variation of flow depth at discharge of 113 lit/sec

جدول ۳. حساسیت مدل عددی به مدل‌های آشفتگی

Turbulence Model	MAE	R^2
$k - \varepsilon$ Standard	0.0899	0.67
$k - \varepsilon$ RNG	0.0822	0.92
$k - \omega$	0.0545	0.84

Table 3. Sensitivity of numerical model to turbulence models

شکل ۵. مقایسه منحنی تراز آب در محور مرکزی کانال بین نتایج عددی و داده‌های آزمایشگاهی

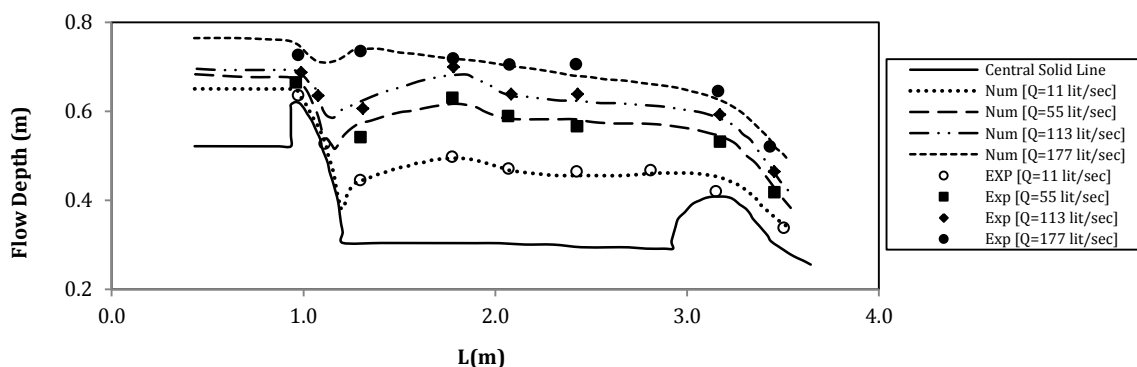


Fig. 5. Experimental and numerical comparison of the flow free surface at central line of channel

مهم کانال انتخاب شده و سپس فشار لحظه‌ای در آن نقاط استخراج شود. شکل (۷ الف) نقاط مشخص شده برای برداشت فشار لحظه‌ای را نمایش می‌دهد. با گذشت زمان حدود ۳۰ ثانیه و پایدار شدن شرایط جریان، فشار لحظه‌ای در بازه‌های زمانی ۵ ثانیه در نقاط تعیین شده، برداشت شده است.

شکل ۷ الف). نقاط برداشت فشار لحظه‌ای (ب) نوسانات فشار دینامیکی در نقطه مفروض ۱۰ به ازای دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه در بازه زمانی ۳۰ الی ۳۵ ثانیه

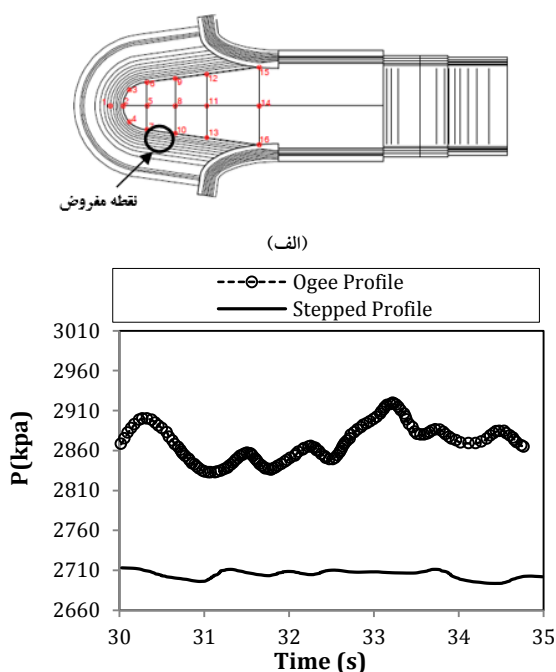


Fig. 7. (a) Points of pressure recording (b) variation of dynamic pressure at point of 10 in discharge of 55 lit/sec in 30-35 seconds time period

در شکل (۷ ب) نوسانات فشار دینامیکی در نقطه ۱۰ به ازای دبی

۳- نتایج و بحث

در سرریزهای سه‌جانبی، پلکانی نمودن منحنی استاندارد مقطع سرریز موجب استهلاک انرژی جریان و نیز کاهش سرعت جریان ورودی از اطراف به داخل کانال جانبی شده و متعاقباً شدت برخورد لایه‌های ریزشی جریان کاهش می‌یابد. در شکل (۶) مقطع پلکانی این سرریز ارائه شده است.

شکل ۶. سرریز سه‌جانبی پلکانی (الف) پلان و (ب) مقطع (Taghizadeh et al., 2015)

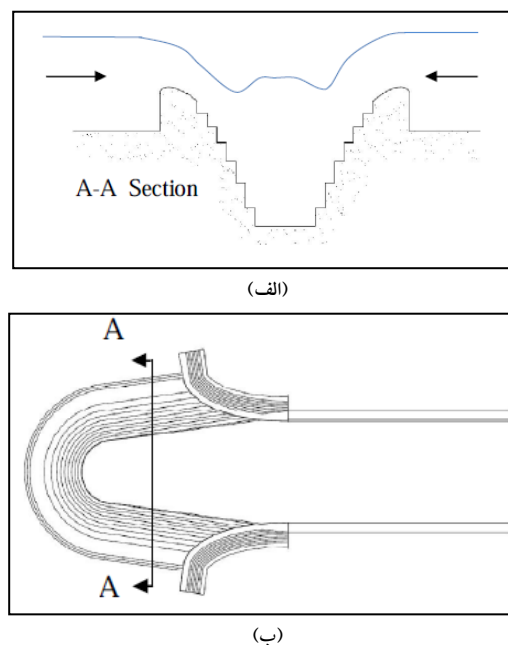


Fig. 6. Stepped three sided spillway (a) plan (b) cross-section

۱-۳ نوسانات فشار

برای بررسی نوسانات فشار دینامیکی، باید تعدادی نقطه در نقاط

$$T_u = \frac{P'_{rms}}{P} \quad (6)$$

که در آن T_u پارامتر شدت آشفتگی یا به عبارتی شدت نوسانات فشار در یک نقطه، P'_{rms} ریشه مجذور میانگین نوسانات لحظه‌ای در همان نقطه و $\bar{P}$ میانگین فشار در همان نقطه است. P' و P'_{rms} به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$P'_{rms} = \sqrt{P'^2} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_0^T P'^2(t) dt \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$\bar{P} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T P(t) dt \quad (8)$$

که در آن T سیکل زمانی تغییرات فشار است.

۵۵ لیتر بر ثانیه و در بازه زمانی ۳۰ الی ۳۵ ثانیه ارائه شده است. از شکل کاملاً مشهود است که تغییر منحنی سرریز موجب کاهش و یکنواختی بیشتر فشار در نقطه بررسی شده است. در حالت به-کارگیری منحنی استاندارد، فشار لحظه‌ای وارد بر نقطه ۱۰، برابر ۲۸۶۸ کیلوپاسکال است که با تغییر منحنی، مقدار آن به ۲۷۰۵ کیلوپاسکال کاهش یافته است؛ این کاهش معادل ۶ درصد است.

۳-۲ پارامتر شدت آشفتگی

پارامتر شدت آشفتگی رابطه (۶) در جریان عبوری از سرریزها تحت تأثیر الگوی جریان در لایه مرزی و شرایط مرزی در مقاطع مختلف سرریز می‌باشد. به بیانی دیگر، شدت آشفتگی، یک معیار بدون بعد از نوسانات متلاطم فشار است که معرف میزان آشفتگی جریان بوده و بر اساس نسبت مجذور میانگین مربعات نوسانات فشار دینامیکی در یک نقطه از جریان به فشار متوسط در همان نقطه تعریف می‌شود [۲۰]:

شکل ۸. پارامتر آشفتگی در دو حالت منحنی سرریز در محور مرکزی کانال جانبی در دبی‌های

۱۱۷lit/sec (الف) ۱۱ lit/sec (ب) ۵۵ lit/sec (پ) ۱۱۳lit/sec (ت)

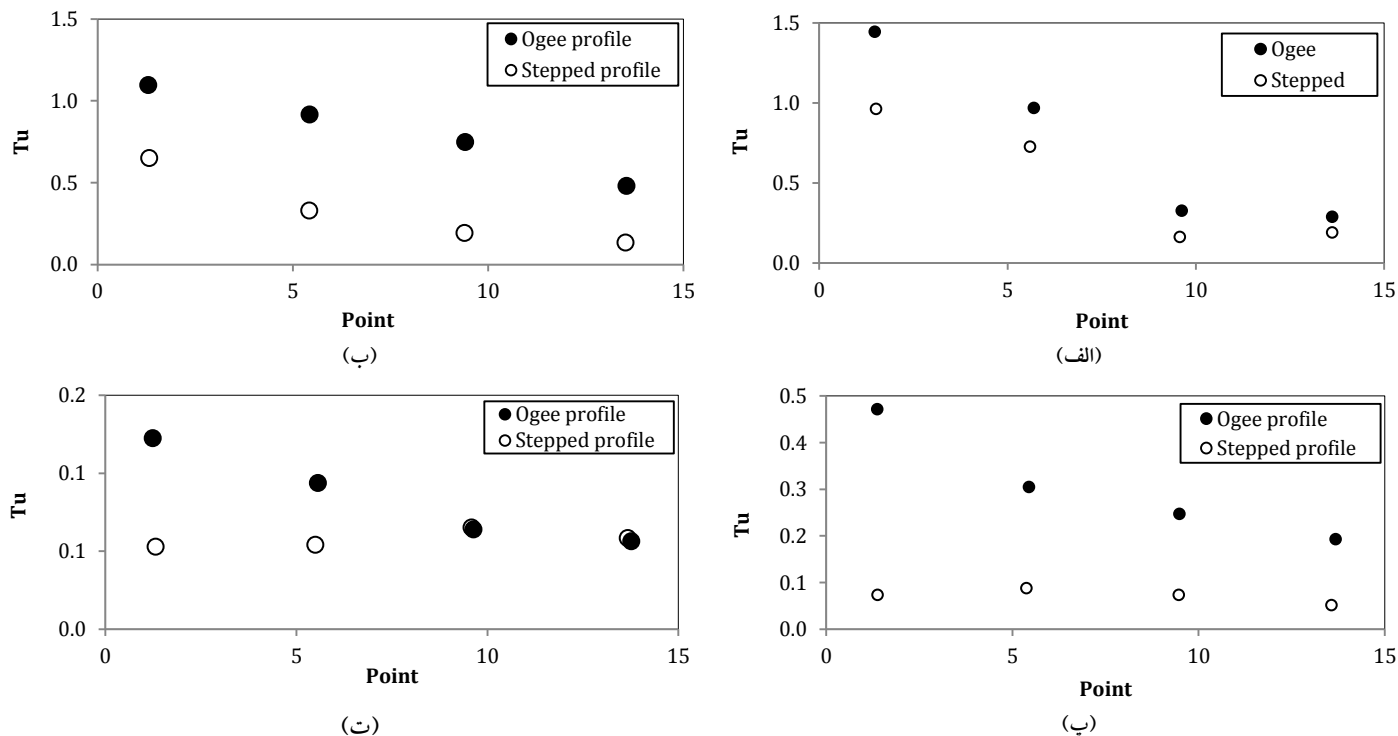


Fig. 8. Turbulence Index for two ogee and stepped profiles of spillway at central line of channel in different discharges of (a) 11 lit/sec (b) 55 lit/sec (c) 113 lit/sec (d) 177 lit/sec

شکل ۹. بررسی عمق جریان در محور مرکزی کانال در دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه

(الف) سرریز با منحنی استاندارد (اوجی) (ب) سرریز با منحنی پلکانی (محور افقی طول سرریز و محور قائم عمق جریان می باشد)

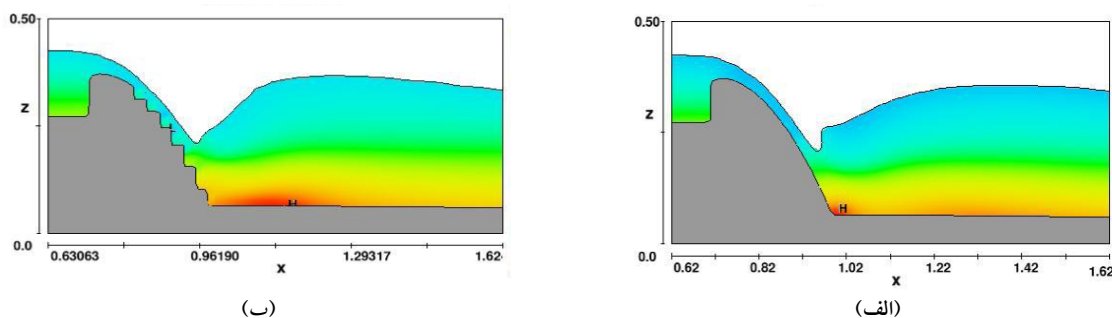


Fig. 9. Investigation of the flow depth at central line of channel in discharge of 55 lit/sec
(a) spillway with ogee profile (b) spillway with stepped profile

عمق جریان در کانال جانبی افزوده می شود که این افزایش عمق در کناره های کانال جانبی محسوس تر است. این افزایش نسبی عمق به کاهش میزان نوسانات فشار دینامیکی و آشفتگی جریان کمک می کند، لیکن مهم ترین عامل در کاهش شدت نوسانات فشار، کاهش تلاطم جریان در داخل کانال است. در شکل (۹) عمق جریان در محور مرکزی کانال در دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه با منحنی های هم تراز فشار آورده شده است. در شکل (۱۰) نیز نمودارهای عمق جریان سرریزهای استاندارد و پلکانی مورد مقایسه قرار گرفته اند. با توجه به شکل های (۹ و ۱۰)، با پلکانی نمودن منحنی استاندارد، عمق جریان در کانال جانبی افزایش می یابد.

۳-۴ توزیع فشار

در شکل (۱۱) نمودارهای توزیع فشار در کف کانال جانبی آورده شده است. با توجه به اینکه عملکرد منحنی پلکانی و زبری ناشی از آن در دبی های پایین بیشتر است، اختلاف بیشتر فشار بین دو منحنی در دبی های پایین مشاهده می شود. با افزایش دبی، هم مقدار کمی فشار و هم الگوی توزیع آن در دو حالت منحنی استاندارد و پلکانی نزدیک به هم می شود. مطابق نتایج حاصل شده عددی، پلکانی نمودن منحنی سرریز باعث استهلاک انرژی در کانال جانبی سرریز شده و مقداری بر عمق جریان در کانال جانبی می افزاید. نتیجه این مساله، کاهش سرعت خروجی جریان از کانال جانبی است. این کاهش سرعت نسبت به حالت استاندارد آنچنان محسوس نیست. دلیل این امر آن است که فرآیند استهلاک انرژی در کانال جانبی سرریز سه جانبی ناشی از برخورد سفره های ریزشی جریان است.

با توجه به اینکه با افزایش سرعت جریان ورودی (افزایش دبی)، میزان مومنتم برخوردی (برخورد جریان ورودی با جریان اصلی در کانال) افزایش می یابد، به عمق جریان در گرده ماهی افزوده می شود. با افزایش دبی ورودی به سرریز نوسانات فشار کم شده و از شدت پارامتر آشفتگی کاسته می شود. این امر موجب بهبود وضعیت جریان در کانال جانبی سرریز می شود. در شکل (۸) تغییرات پارامتر شدت آشفتگی در امتداد محور مرکزی کانال جانبی به ازای دبی های مختلف و در دو حالت سرریز اوجی (استاندارد) و سرریز پلکانی مشاهده می شود. با پیشروی در طول کانال جانبی از میزان تلاطم و برخورد سفره های ریزشی جریان کاسته و جریان توسعه یافته تر شده و از میزان شدت نوسانات فشار و آشفتگی جریان کاسته می شود. از این رو می توان نتیجه گرفت بیشترین میزان آشفتگی در ابتدا و کناره های کانال جانبی وجود دارد. با افزایش دبی از اثر پلکانی سرریز کاسته شده و میزان اثر این زبری بر مشخصات جریان کم شده و به وضوح اثر آن بر تغییرات میزان شدت نوسانات فشار مشاهده می شود. در دبی حدود ۱۷۷ لیتر بر ثانیه، مقادیر شدت نوسانات فشار بسیار به هم نزدیک می شوند.

۳-۳ عمق جریان

مهم ترین اثر پلکانی نمودن منحنی اوجی (استاندارد) سرریز سه جانبی بر ویژگی های جریان، افزایش عمق جریان در کانال جانبی به علت کاهش برخورد سفره های ریزشی جریان است. کاهش سرعت برخورد سفره های ریزشی جریان اثر قابل توجهی در افزایش عمق جریان در کانال جانبی نخواهد داشت، اما با تأخیری که در تخلیه جریان از کانال جانبی می گیرد، مقداری بر

شکل ۱۰. مقایسه عمق جریان در دو حالت منحنی استاندارد و منحنی پلکانی سرریز در محور مرکزی کانال در

(الف) دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه (ب) دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه (پ) دبی ۱۱۳ لیتر بر ثانیه

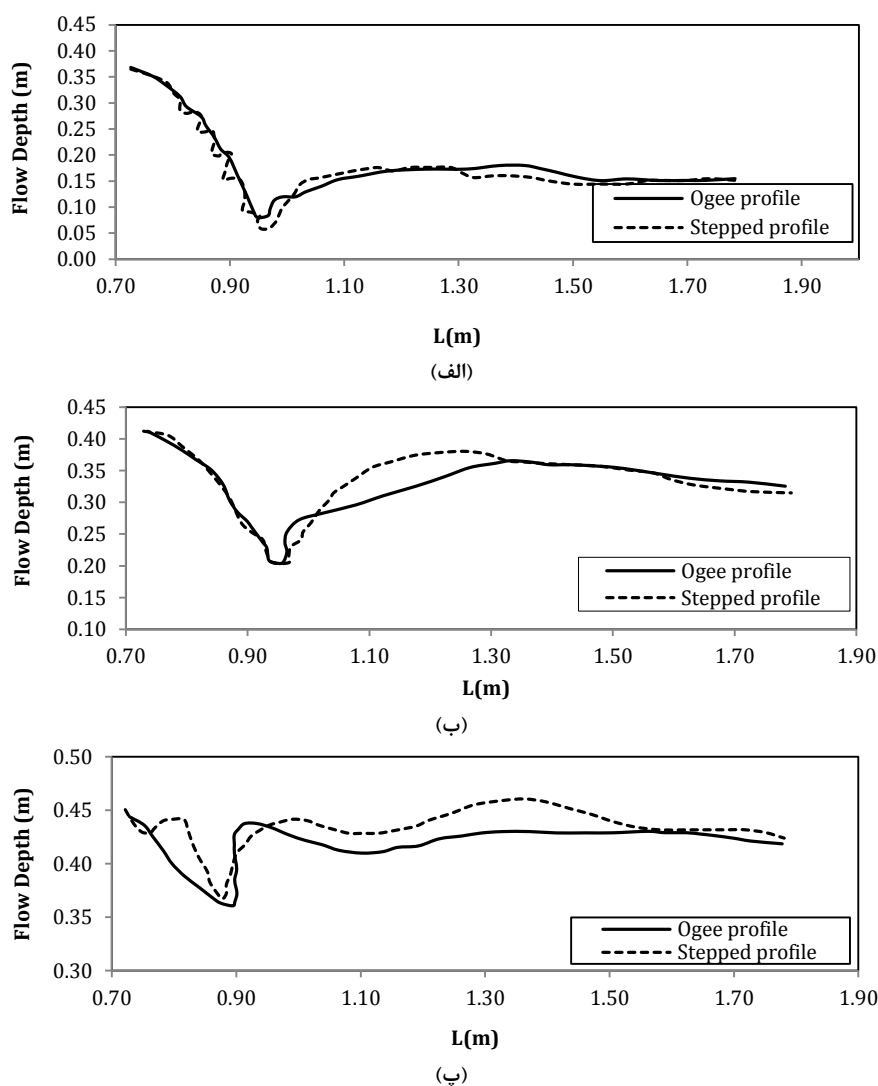
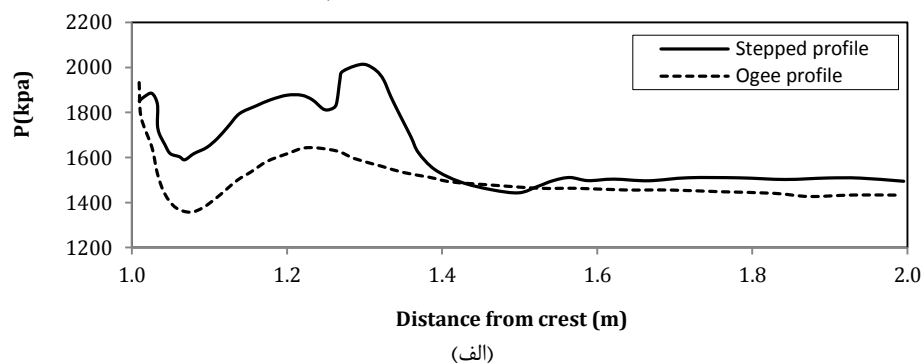


Fig. 10. Comparing the flow depth at central line of channel in spillways having ogee and stepped profile
(a) 11 lit/sec (b) 55 lit/sec (c) 113 lit/sec

شکل ۱۱. بررسی توزیع فشار در دو حالت منحنی استاندارد و پلکانی در محور مرکزی کانال جانبی در

(الف) دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه (ب) دبی ۵۵ لیتر بر ثانیه (پ) دبی ۱۱۳ لیتر بر ثانیه



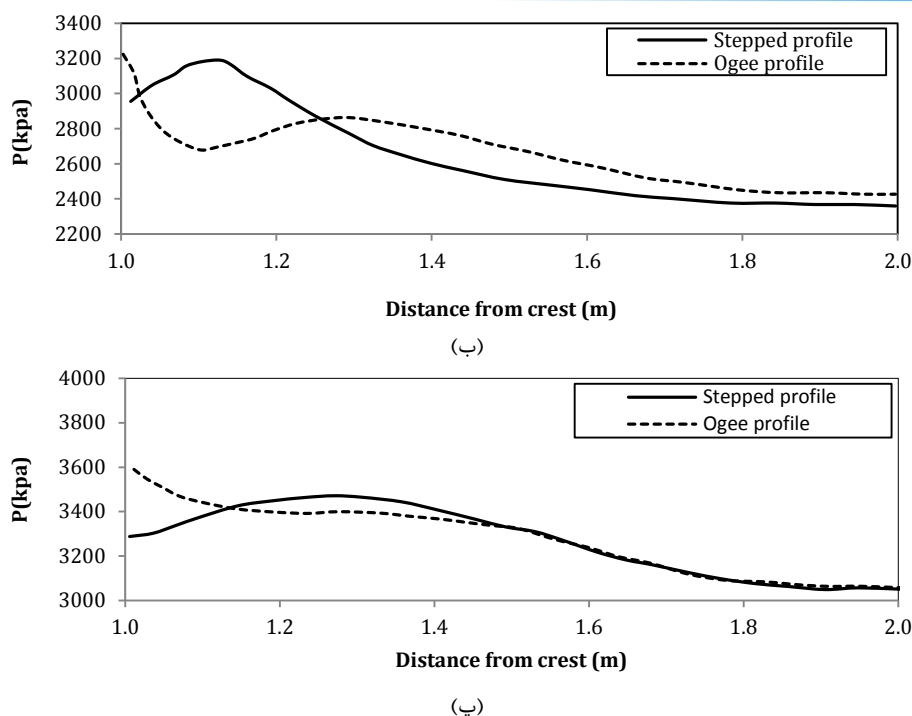


Fig. 11. Investigation of the pressure distribution at central line of channel in spillways having ogee and stepped profile
(a) 11 lit/sec (b) 55 lit/sec (c) 113 lit/sec

پلکانی نمودن منحنی استاندارد، موجب افت قابل توجه نوسانات فشار دینامیکی در تمام نقاط داخلی کانال جانبی شده است. مشابه روند تغییرات عمق جریان در دبی‌های مختلف، با افزایش دبی جریان بر میزان کارایی منحنی پلکانی افزوده شده و به ازای دبی ۱۷۷ لیتر بر ثانیه، بیشترین میزان کاهش فشار دینامیکی دیده می‌شود. در این مقدار دبی، متوسط مقدار کاهش فشار دینامیکی در حدود ۹ درصد است. نوسانات فشار دینامیکی عمدتاً در مناطقی از کانال جانبی رخ داده است که کمترین اثر را از برخورد سفره‌های ریزشی جریان به داخل کانال جانبی داشته‌اند. این مناطق شامل قسمت‌هایی از کانال جانبی می‌شود که از محور مرکزی آن فاصله داشته و نزدیک به بدنه سرریز باشند.

References

- [1] Daneshbod, Y. and Taleb-beydokhti, N. 2010. Simulation of the flow over Sivand dam spillway using Fluent. 8th Hydraulic Conference, Iranian Hydraulic Association, Tehran University. 14-16 Dec (In Persian).
- [2] Montazar, A. and SalehiNeyshabouri, S.A.A. 2006. Impact of some parameters affecting the hydraulic performance of u-shaped side spillway. *Canadian Journal of Civil Engineering*. **33**: 552-560.
- [3] Hinds, J. 1926. Side channel spillway. *Transaction of the American Society of Civil Engineering* **89**: 881-927.

۵- مراجع

با پلکانی نمودن منحنی استاندارد، فرآیند استهلاک انرژی جریان ناشی از برخورد سفره‌های ریزشی تضعیف می‌شود لیکن برآیند این دو فرآیند مستهلک کننده، باعث تقلیل نسبی سرعت جریان خروجی از کانال جانبی سرریز با منحنی پلکانی نسبت به حالت استاندارد شده است.

۴- نتایج کلی

در این پژوهش به بررسی اثر پلکانی نمودن منحنی استاندارد سرریز سه‌جانبی بر تغییرات عمق جریان و میزان نوسانات فشار دینامیکی در کانال جانبی پرداخته شد. پلکانی نمودن منحنی استاندارد سرریز موجب کاهش برخورد سفره‌های ریزشی جریان شده که در نهایت افزایش عمق جریان در کانال جانبی را به دنبال دارد. مقدار این افزایش در مقاطع مختلف کانال جانبی و به ازای دبی‌های مختلف متفاوت است به‌طوری‌که با افزایش دبی جریان، بر میزان افزایش عمق جریان در منحنی پلکانی افزوده می‌شود. به عنوان نمونه در فاصله ۱/۳ متر از تاج سرریز، در دبی ۱۱ لیتر بر ثانیه، میزان افزایش عمق جریان بسیار ناچیز بوده، در حالی‌که دبی ۱۷۷ لیتر بر ثانیه، این افزایش به ۶ درصد می‌رسد. از سویی دیگر

- [13] Dehdar-behbahani, S. and Parsaie, A. 2016. Numerical modeling of flow pattern in dam spillway's guide wall. Case study: Balaroud dam, Iran. *Alexandria Engineering Journal*. **55**(1): 467–473.
- [14] Taghizadeh, H., Salehi Neyshabouri, S.A.A., Naghavi, A., Hassani, A. and Allahyari, R. 2015. Improving water productivity over three-side spillways with focus on effective length of the crest. *Journal of Hydraulic Engineering*. **10**(2):1-11 (In Persian).
- [15] Farhoodi, M., Salehi-Neyshabouri, A.K. and Safarzadeh, A. 2016. Two-Phase numerical simulation of flow pattern in three-sided spillways, Considering Scale Effect. *Modarres Civil Engineering Journal* (Under Press, In Persian).
- [16] Chanson, H. 2001-2002. Historical development of stepped cascade for the dissipation of hydraulic energy. *Transaction of the Newcomen Society*. **72**: 295-318.
- [17] Flow Science, Inc. 2008. FLOW-3D User's Manual, Flow Science, Inc.
- [18] Taghizadeh, H. 2010. Improving hydraulic performance of U-shaped spillways using numerical modeling. PhD student in Hydraulic Structures, Univeristy of Tabriz, Tabriz, Iran (in Persian).
- [19] Hirt, C. and Nichols, B. 1981. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. *Journal of Computational Physics*. **39**: 201-225.
- [20] Smith H. and Foster D. 2005. Modeling of flow around a cylinder over a scoured bed, *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, ASCE. **131**(1): 14-24.
- [4] Farney, H.S. and Markus, A. 1962. Side channel spillway design. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. **88**(3): 131-154.
- [5] Yen, B.C. and Wenzel, H.G. 1970. Dynamic equations for steady spatially varied flow. *Journal of Hydraulic Division*, ASCE. **96**(3): 801-814.
- [6] Berman, R. and Hager, W.H. 1989. Experiments in side channel spillways. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. **115**(5): 617-635.
- [7] Kouchakzadeh, S. and Vatankhah Mohammad-Abadi, A.R. 2002. Spatially varied flow in non-prismatic channels: dynamic equation. *Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*. **51**(1): 41-50.
- [8] Novak, P., Moffat, A.I.B., Nalluri, C. and Narayanan, R. 1990. *Hydraulic Structures*. London, Unwin Hyman.
- [9] Kouchakzadeh, S., Kholgi, M.K. and Vatankhah Mohammad-Abadi, A.R. 2002. Spatially varied flow in non-prismatic channels: numerical solution and experiment verification. *Journal of the International Commission on Irrigation and Drainage*. **51**(1): 51-60.
- [10] Water Research Institute. 1995. The final report of spillway hydraulic model of Shahid Yaghoubi dam, report 161, Tehran (In Persian).
- [11] Water Research Institute. 1997. The final report of spillway hydraulic model of Jaareh dam, report 268, Tehran (In Persian).
- [12] Knigh, C.E. and Arthur. 1989. Design of efficient side channel spillway. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. **115**(9): 1275-1289.

Numerical Investigating the Effect of Changing the Ogee Profile of Three-Sided Spillways on Improving their Hydraulic Performance

H. Taghizadeh¹, A. Arzanlou^{*2}, N. Kardan³

¹ PhD Student of Hydraulic Structure, Faculty of Engineering, Urmia University

^{2*} PhD Student of Civil Engineering and Construction Management, Islamic Azad University, Central Tehran Branch

³ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University

*a.arzanlou.eng@iauctb.ac.ir

Abstract

Side channel spillways are widely used in dam outlet works for irrigation and drainage networks; and also in water and wastewater facilities. A special type of these spillways is the Three-sided channel spillway in which the flow enters the side channel through both the end and sides of the spillway. There is a variety of names for these spillways, including bathtub spillways, U-shaped spillways, and duckbill spillways. Those are used in situations where a spillway with a long crest is required. In Three-side spillways, the flow enters through a U-shaped weir (in plan) into the side channel that serves to deliver water downstream. The flow in the side channel is a spatially varied flow with increasing discharge and is especially designed with a non-prismatic cross section (increasing bed width along the flow direction) to avoid channel flow effects on influent flows. Several studies have been carried out to gain a clear understanding of the effective factors and the relations dominating the flow in one-sided channels. Few studies have been done on hydraulic performance of Three-sided channel spillways, however, most studies have only focused on specific applications of the situations of these spillways and have aimed at improving the hydraulic performance of flow. Also, in some studies, determining the optimized values of three design parameters; including side channel bed slope, the appropriate elevation, and shape of the end sill for the spillways were investigated and concluded that the effective crest length for two-sided, L-shaped spillways, taking into account the effect of each of the corners of the spillway on reducing crest length. In this study, the three-dimensional flow filed of U-shaped spillway and end-sill of the side channel are simulated using Flow3D and the effect of flow turbulences have been modelled by RNG closure. Comparison of the numerical and experimental results revealed that this model with RNG closure has capable to carefully simulate the turbulence flow field on these structures. The effect of making stepped the ogee profile of the three-sided spillway on flow depth and dynamic pressure fluctuations has been numerically evaluated; the non-dimensional turbulence index has been used to investigate the fluctuations of the dynamic pressure. The results revealed making stepped the ogee profile causes to reduce the encounter of the side overfalls, and to increase the flow depth in the side channel, in which this lead to considerable decrease in pressure fluctuation intensity. Also the results showed that it is better this type of spillways to be designed in low-flow heads, so as to raise discharge. Using long sideling lateral arms will have a positive effect on the discharge coefficient. Finally, in these spillways the flow from their lateral channel is discharged with delay and in high flow rates is immediately submerged due to severe interference of dropping layers of flow. The area that experiences the most reduction in effective length of the spillway is the part that two side arms and the normal part (perpendicular to the central axis of the side channels) are linked together. By reducing this area and having a short connection between them, the effective length reduction can be reduced.

Keywords: Three-sided spillway, Hydraulic performance, Stepped profile, Numerical simulation.