

بررسی عددی تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان در شرایط تشکیل پرش هیدرولیکی در امتداد سرریزهای جانبی در کانال های روباز



فصلنامه علمی تخصصی
مهندسی و مدیریت ساخت
سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۵

نگار باقری*

دانش آموخته ی کارشناسی ارشد عمران- آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

محمد سعید ترنجی

دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- مدیریت منابع آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

افشین اقبال زاده

استادیار گروه عمران- آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی

نویسنده مسئول: نگار باقری

آدرس ایمیل:

negarbagheri125@gmail.com

چکیده:

سرریزهای جانبی یکی از سازه های هیدرولیکی کاربردی و مهم در سیستم های کنترل و هدایت آب هستند. جریان خروجی از سرریز جانبی سه بعدی است که باعث می شود این سرریزها هیدرولیک پیچیده ای داشته باشند. تحت شرایط خاصی وجود سرریز جانبی موجب تشکیل پرش هیدرولیکی در کانال اصلی می شود که این حالت کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این مقاله پس از مدل سازی سه بعدی پرش هیدرولیکی در سرریزهای جانبی با استفاده از نرم افزار ۲D-FLOW، اعتبار سنجی مدل عددی با استفاده از داده های آزمایشگاهی صورت گرفته و تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر خصوصیات پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار عدد فرود در مقطع اولیه پرش افزایش می یابد که منجر به قوی تر شدن پرش هیدرولیکی می شود. همچنین با کاهش ارتفاع تاج سرریز، میزان نوسانات سطح آب و ارتفاع پرش هیدرولیکی افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: سرریز جانبی، پرش هیدرولیکی، ۲D-FLOW، جریان متغیر مکانی، ارتفاع تاج سرریز

Numerical Investigation Of The Impact On The Flow Patterns In The Spillway Crest Elevation Hydraulic Jump Along The Side Weirs In Open Channel

Negar Bagheri*

M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Razi, Iran

Mohammed Saeed Toranji

M.Sc. Student of Water Resources Management Engineering, Faculty of Engineering, University of Razi, Iran

Afshin Eghbalzadeh

Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Engineering, University of Razi

V. 01 No. 02 - Summer 2016

Corresponding author:

Negar Bagheri

Email address:

negarbagheri125@gmail.com

آب ماده ای حیاتی است که وجود آن در هر مکانی باعث حیات و زندگی می گردد و بنابراین شناخت منابع آب و چگونگی انتقال آنها جایگاه ویژه ای در علم هیدرولیک دارد. سرریزهای جانبی یکی از سازه های انحراف جریان هستند که در حاشیه کانالها ساخته شده و برای اهداف گوناگونی مانند انحراف آب مازاد و یا آگیری در شبکه های آبیاری، زهکشی و سیستمهای فاضلاب استفاده می گردند. در کل میتوان سه نوع از جریان را در مقطع سرریز جانبی مشاهده کرد: جریان زیر بحرانی: در این حالت در کل طول سرریز جانبی جریان زیر بحرانی است. سطح آب از انتهای بالادست به سمت انتهای پایین دست سرریز به آرامی افزایش می یابد. این حالت معمولاً در کانالهای یکنواخت و یا کانالهای با شیب کم رخ می دهد.

جریان فوق بحرانی: در این حالت در کل طول سرریز جانبی جریان فوق بحرانی است. ازینرو سطح آب از انتهای بالادست سرریز به سمت انتهای پایین دست آن افت می کند. این حالت معمولاً در کانالهای با شیب تند رخ می دهد. جریان مرکب: این حالت ترکیبی از دو جریان ذکر شده در بالاست. در ابتدا جریان فوق بحرانی بوده و باعث کاهش سطح آزاد آب در طول سرریز جانبی می شود. این حالت با تشکیل یک پرش در نتیجه انتقال به جریان زیر بحرانی در مقطع پایین دست ادامه می یابد [۱].

تاکنون تحقیقات بسیاری بر روی دو حالت اول صورت گرفته، اما به حالت سوم کمتر پرداخته شده است. تحقیقات آزمایشگاهی و تحلیلی بسیاری بر روی سرریزهای جانبی مستطیلی در دو حالت جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی در کل طول سرریز انجام شده است. دی ماریچی (۱۹۳۴) برای اولین بار با صرفنظر از اصطکاک و افت انرژی در طول سرریز و حل معادله جریان متغیر مکانی با کاهش دبی، ضریب دبی دی ماریچی را ارائه داد [۲]. سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲) با بررسی آزمایشگاهی جریان بر روی سرریزهای جانبی لبه تیز در کانال مستطیلی و شناسایی پارامترهای موثر بر ضریب دبی، عبارتی را برای تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی با ارتفاع صفر، بر حسب عدد فرود بالادست کانال اصلی ارائه دادند [۳]. نادسامورتی و تامسون (۱۹۷۲) روابطی که توسط سابرامانیا و آواستی ارائه شده بود را مورد بررسی قرار دادند و رابطه ی جدیدی برای ضریب دبی بدست آوردند [۴]. هاگر (۱۹۸۷) با بررسی آزمایشگاهی، فرمول جدیدی برای سرریزهای جانبی با ارتفاع تاج صفر ارائه داد [۵]. سینگ و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که ضریب شدت جریان علاوه بر عدد فرود بالادست به نسبت ارتفاع سرریز به عمق جریان بالادست نیز بستگی دارد [۶]. برقی و همکاران (۱۹۹۹) با بررسی های آزمایشگاهی به این نتیجه رسیدند که فرض دی ماریچی مبنی بر ثابت بودن انرژی ویژه در طول سرریز در جریان زیر بحرانی درست بوده و شیب کف کانال نیز در این نوع جریان قابل صرفنظر کردن است [۷]. سامانی (۱۳۸۴) معادلات حاکم بر جریان متغیر مکانی با کاهش دبی را با استفاده از روش رانج کوتا مرتبه چهارم حل کرد و محل پرش هیدرولیکی را با استفاده از تعادل مومنتم قبل و بعد از پرش به دست آورد. همچنین حل عددی کامل معادلات پیوستگی و اندازه حرکت در کانالهای منشوری با سرریز جانبی را در شرایط با و بدون پرش هیدرولیکی ارائه داد [۸]. پاتیرانا و همکاران (۲۰۰۶) به بررسی ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی لبه تیز در حالت جریان فوق بحرانی با استفاده از داده های آزمایشگاهی پرداختند. آنها با فرض ثابت بودن انرژی ویژه در کانال اصلی و با استفاده از تحلیلهای رگرسیونی چندگانه به بررسی پارامترهای بدون بعد مختلف پرداختند [۹]. دورگاران و پیلاپی (۲۰۰۸) به مطالعه جریان در سرریزهای جانبی مستطیلی در شرایط جریان فوق بحرانی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که اصل مومنتم بسیار مناسبتر از اصل انرژی برای بررسی جریان متغیر مکانی در شرایط جریان فوق بحرانی است [۱۰]. مانگاروکار (۲۰۱۰) توزیع سرعت، ناحیه ی سکون، ناحیه جدایی و پروفیل سطح آب در سرریز جانبی مستطیلی با ارتفاع صفر را در کانال افقی به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار داد [۱]. امیرافلو و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی آزمایشگاهی بیان داشتند که در معادلات ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی لبه تیز باید اثر پارامترهای نسبت طول سرریز به عرض کانال اصلی و ارتفاع بالادست جریان را نیز در نظر گرفت [۱۱]. باقری و حیدرپور (۲۰۱۲) به بررسی آزمایشگاهی مولفه های مختلف سرعت و توزیع دبی موضعی و تغییرات زاویه خروجی جت جریان روی تاج و مجاورت سرریز جانبی مستطیلی پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که ناحیه سکون در انتهای سرریز جانبی

رخ می دهد [۱۲]. تعدادی از محققین نیز با استفاده از شبیه سازی عددی، الگوی جریان در سرریز جانبی مستطیلی را مورد مطالعه قرار دادند. تدین (۲۰۰۹) مدلی سه بعدی با مدل انتقال تنش رینولدز RSM و طرح VOF را برای به دست آوردن دبی جریان، پروفیل سطح آزاد و توزیع سرعت در سرریز جانبی به کار برد [۱۳]. مانگاروکار (۲۰۱۰) سرریز جانبی مستطیلی با ارتفاع صفر را به صورت سه بعدی در ANSYS ۱۲ با استفاده از روش VOF و مدل آشفتگی k-ε RNG مدل سازی کرد و نتیجه گرفت که مدل آشفتگی k-ε RNG در پیش بینی محل نقطه اتصال مجدد برای جریان سرریز جانبی ناموفق است [۱]. محمودی نیا و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی عددی اثر عدد فرود بر سطح آزاد جریان در مقطع سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز پرداختند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش عدد فرود، نقطه ی ایستایی به سمت بالادست و ناحیه ی جدایی به سمت انتهای پایین دست سرریز جانبی حرکت می کند [۱۴]. مطالعات محدودی هم به صورت آزمایشگاهی در ارتباط با پرش هیدرولیکی در سرریزهای جانبی انجام شده است. قبادیان (۱۳۹۰) با بررسی آزمایشگاهی جریان عبوری از سرریز جانبی در شرایط وقوع پرش هیدرولیکی مدلی یک بعدی ارائه داد که قادر بود موقعیت پرش، دبی عبوری از سرریز و پروفیل سطح آزاد را محاسبه کند [۱۵]. محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی پروفیل سطح آب و ضریب تخلیه سرریز جانبی در شرایط وقوع پرش هیدرولیکی پرداخته و رابطه ای برای تعیین شکل پروفیل سطح آب در امتداد سرریز جانبی ارائه دادند [۱۶]. بر اساس اطلاعات نویسندگان تاکنون تاثیر ارتفاع سرریز بر پرش هیدرولیکی تشکیل شده در امتداد سرریزهای جانبی به صورت عددی مورد بررسی قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار ۳D-FLOW، تاثیر تغییر ارتفاع تاج سرریز بر پرش هیدرولیکی تشکیل شده در امتداد سرریز جانبی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان جریان شامل معادله پیوستگی و معادلات متوسط گیری شده ناویر استوکس برای سیال غیرقابل تراکم بصورت زیر می باشند:

$$V_F \frac{\partial \bar{n}}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \bar{n} x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \bar{n} y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \bar{n} z)}{\partial z} = R_{SOR} \quad (۱)$$

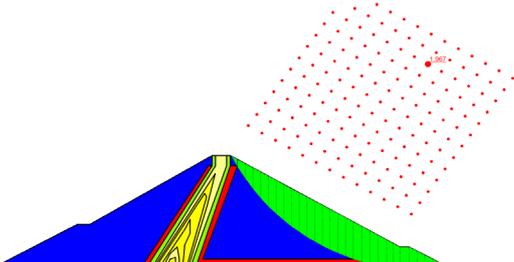
$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + \bar{n} y \frac{\partial u}{\partial y} + \bar{n} z \frac{\partial u}{\partial z}) = -\frac{1}{\bar{n}} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \quad (۲)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + \bar{n} y \frac{\partial v}{\partial y} + \bar{n} z \frac{\partial v}{\partial z}) = -\frac{1}{\bar{n}} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \quad (۳)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + \bar{n} y \frac{\partial w}{\partial y} + \bar{n} z \frac{\partial w}{\partial z}) = -\frac{1}{\bar{n}} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \quad (۴)$$

در معادلات فوق (u, v, w) مولفه های سرعت، (Ax, Ay, Az) مساحت کسری محیط به جریان، (Gx, Gy, Gz) نیروهای گرانشی و (fx, fy, fz) شتاب های ناشی از لزجت در راستاهای (x, y, z) هستند.

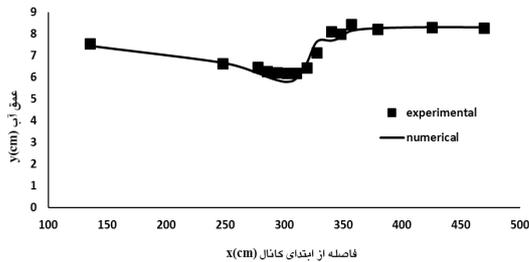
ورودی بالادست کانال اصلی از شرط مرزی سرعت مشخص، در مرز خروجی پایین دست کانال اصلی از شرط مرزی فشار مشخص، در کف و دیواره کانال اصلی شرط مرزی دیواره، در انتهای کانال جانبی در پایین دست سرریز جانبی از شرط مرزی جریان خروجی و برای سطح آزاد از شرط مرزی تقارن استفاده شد. در شرط مرزی تقارن اصطکاک و تغییرات زمانی و مکانی کلیه پارامترها صفر می باشد. همچنین در شرط مرزی دیواره، شرط عدم لغزش استفاده شده و اصطکاک ناچیز در نظر گرفته می شود، بنابراین در مرز دیواره هیچ زبری اعمال نشده است. نحوه ی اعمال شرایط مرزی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: شرایط مرزی اعمال شده بر مدل عددی

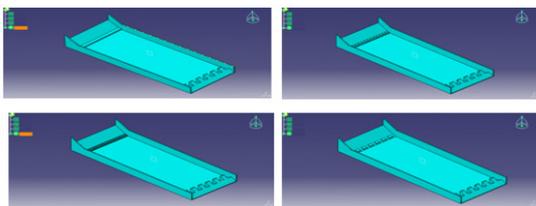
۳- نتایج و بحث

در شکل ۳ نتایج پروفیل سطح آزاد شبیه سازی شده با نتایج آزمایشگاهی محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) در خط مرکزی کانال مقایسه شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، نتایج آزمایشگاهی و عددی تطابق مناسبی با هم دارند. با توجه به شکل در کانال اصلی پرش هیدرولیکی رخ داده که محل شروع آن در حدود ۳ متری از ورودی کانال است.



شکل ۳: مقایسه نتایج شبیه-سازی سطح آزاد با نتایج آزمایشگاهی محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) در خط مرکزی کانال

معیارهای خطای APE و RMSE در شبیه سازی سطح آزاد به ترتیب برابر ۳/۰۲ درصد و ۰/۲۷۵ محاسبه شدند که نمایانگر تطابق مناسب بین مدل عددی و آزمایشگاهی می باشد. همچنین نتایج مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۹۰) برای سطح آزاد و دبی خروجی از سرریز جانبی مورد اعتبارسنجی قرار گرفتند. در شکل ۴ نتایج پروفیل سطح آزاد شبیه سازی شده با نتایج آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۹۰) در خط مرکزی کانال مقایسه شده است. معیارهای خطای APE و RMSE در شبیه سازی سطح آزاد به ترتیب برابر ۳/۹۴ درصد و ۰/۲۶۳ محاسبه شدند.



شکل ۴: مقایسه نتایج شبیه-سازی سطح آزاد با نتایج آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۹۰) در خط مرکزی کانال

همچنین P فشار، ρ چگالی سیال، VF کسری از حجم مرتبط با جریان و RSOR ترم چشمه می باشند. در این مقاله مدل آشفتگی k- ϵ RNG به منظور مدلسازی آشفتگی استفاده شده است. این مدل بدلیل دقت بالا در شبیه سازی جریانهای آشفتنه با شدت کم و نواحی با برش بالا و همچنین عملکرد بهتر نسبت به مدل آشفتگی k- ϵ استاندارد استفاده شده است [۱۷]. برای مدلسازی تغییرات پروفیل سطح آب از روش VOF استفاده شده است. برای تعیین سطح آزاد، معادله انتقال جز حجم سیال در یک سلول، F، که به صورت زیر می باشد، حل میشود [۱۸].

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ \left(\frac{\partial}{\partial x} (FuA_x) \right) + \frac{\partial}{\partial y} (FvA_y) + \frac{\partial}{\partial z} (FwA_z) \right\} = 0 \quad (5)$$

۲-۲- مدل آزمایشگاهی و میدان محاسباتی

در این مقاله جهت اعتبار سنجی مدل شبیه سازی شده از نتایج آزمایشگاهی محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) استفاده شده است. این آزمایشات در یکی از کانالهای مستطیلی فلزی شیشه ای آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز با طول ۶ متر، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۵ متر انجام شده اند. دبی جریان ورودی برابر ۴۰ لیتر بر ثانیه و شرایط جریان در بالادست سرریز جانبی زیر بحرانی است. ابتدای سرریز در فاصله ۲/۷ متری از ابتدای کانال بوده و طول آن ۰/۸ متر و ارتفاع تاج از کف کانال ۰/۰۲۵ متر بود.

در مدل عددی میدان محاسباتی شامل کانال اصلی با طول ۶، عرض ۰/۸ و ارتفاع ۰/۱۵ متر و کانال جانبی با طول ۰/۱ متر و ارتفاع ۰/۱۵ متر در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این کانال جانبی، یکی از شروط مرزی در پایین دست آن تعریف شده و دیگر نیازی به تعریف شرط مرزی در محل سرریز وجود ندارد. طول شبکه محاسباتی برابر طول کانال اصلی و عرض آن معادل مجموع عرض کانال اصلی و طول کانال جانبی می باشد. برای شبکه بندی میدان از یک شبکه بندی منظم و ساختار یافته استفاده و به علت تغییرات شدید مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی در این ناحیه از شبکه بندی ریزتری استفاده شده است. الگوی شبکه بندی در شکل ۱ و تعداد گره های مورد استفاده در راستاهای مختلف در جدول ۱ نشان داده شده اند.

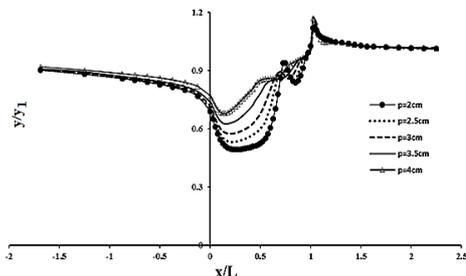
تعداد گره ها در راستای Z	تعداد گره ها در راستای Y	تعداد گره ها در راستای X	محدوده شبکه بندی
۲۲	۷۸	۳۸۰	کانال اصلی
۲۲	۳۵	۹۷	کانال جانبی

$$u = \sum_{l=1}^N N_l \left(\sum_{j=1}^M \psi_j a_j \right)$$

شکل ۱: الگوی شبکه بندی میدان محاسباتی (الف) نمای سه بعدی (ب) پلان ج) مقطع

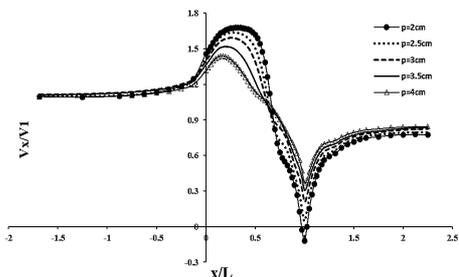
۳-۲- شرایط مرزی

شرایط مرزی مدل عددی باید طوری انتخاب شوند که قادر باشند مدل آزمایشگاهی را به خوبی شبیه سازی نمایند. به همین منظور در مرز



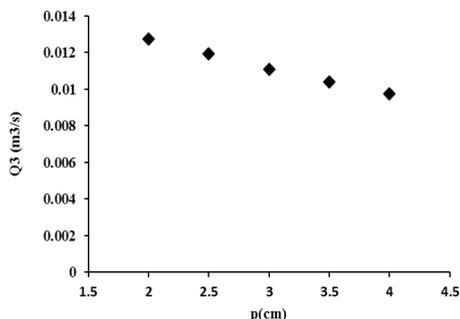
شکل ۶: پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز برای ارتفاع تاج های متفاوت

شکل ۷ توزیع سرعت طولی در مجاورت سرریز را برای ارتفاع تاج های متفاوت نشان می دهد. با کاهش ارتفاع تاج سرریز جانبی به دلیل افزایش دبی عبوری از روی سرریز جانبی، سرعت طولی ماکزیمم افزایش و سرعت طولی مینیمم کاهش می یابد که در نتیجه میزان کاهش سرعت طولی در طول سرریز جانبی بیشتر می باشد. با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار ماکزیمم سرعت طولی در ابتدای پرش بیشتر شده و به سمت پایین دست حرکت می کند. همچنین در ارتفاع تاج ۲ سانتیمتر، سرعت طولی در انتهای مجاورت سرریز جانبی به علت جریان برگشتی به طرف سرریز منفی می شود. همچنین نتایج کمی نشان می دهند که با افزایش ۲۰ درصدی ارتفاع سرریز آزمایشگاهی، مقدار ماکزیمم سرعت طولی در طول سرریز جانبی ۱۹/۶۵ درصد کاهش می یابد و با کاهش ۲۰ درصدی ارتفاع سرریز آزمایشگاهی، مقدار ماکزیمم سرعت جانبی ۱۴/۶ درصد افزایش می یابد که تغییرات در این حالت در مقایسه با حالتی که ارتفاع تاج ۲۰ درصد افزایش می یابد، کمتر است.



شکل ۷: توزیع سرعت طولی در مجاورت سرریز جانبی برای ارتفاع تاج های متفاوت

شکل ۸ نمودار تغییرات دبی خروجی از سرریز جانبی در برابر ارتفاع تاج های مختلف را نشان می دهد. با کاهش ارتفاع تاج سرریز، همانگونه که انتظار میرود به دلیل منحرف شدن بیشتر جریان به طرف سرریز جانبی، دبی عبوری از سرریز افزایش می یابد. محل شروع پرش هیدرولیکی در شکل ۹ نشان داده شده است. با کاهش ارتفاع تاج سرریز محل شروع پرش هیدرولیکی به سمت پایین دست حرکت می کند. به طوریکه در ارتفاع تاج ۴ سانتیمتر محل شروع پرش هیدرولیکی در یک هشتم



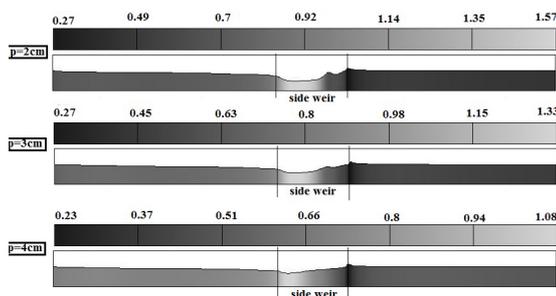
شماره دوم
تابستان ۱۳۹۵
فصلنامه
علمی تخصصی

همچنین در جدول ۲ نتایج حاصل از دبی خروجی از سرریز جانبی در حالت آزمایشگاهی و همچنین مدل سازی عددی ارائه شده است. خطای حاصل از برآورد دبی برابر ۱۲/۵۸ بود. پس از اطمینان از صحت عملکرد مدل عددی، میتوان ازین مدل برای به دست آوردن داده هایی که برداشت آنها در آزمایشگاه کاری پرهزینه و در برخی مواقع زمان بر می باشد، بهره برد

جدول ۲: دبی خروجی از سرریز در حالت آزمایشگاهی و عددی

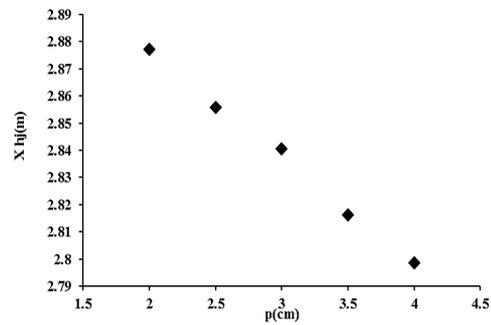
مدل	دبی خروجی از سرریز (lit/s)
آزمایشگاهی	۱/۵۱
عددی	۱/۷۰

یکی از پارامترهایی که بر هیدرولیک جریان عبوری از سرریزهای جانبی نقش دارد، ارتفاع تاج سرریز است. انتخاب مناسب این پارامتر می تواند کارایی سرریز جانبی را افزایش دهد و به همین دلیل در این بخش، با تغییر ارتفاع تاج سرریز جانبی، تأثیرات ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان در حالت تشکیل پرش هیدرولیکی در امتداد سرریز جانبی با ثابت نگه داشتن شرایط هیدرولیکی و شرایط مرزی مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور، ارتفاع تاجهای ۲، ۳، ۳/۵ و ۴ سانتیمتر مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۵ نشان دهنده تغییرات عدد فرود در مجاورت سرریز جانبی برای ارتفاع تاجهای متغیر در صفحه موازی سرریز جانبی است. در هر پنج حالت پرش هیدرولیکی رخ داده و با توجه به تقسیم بندی های پرش هیدرولیکی بر اساس عدد فرود در مقطع اولیه پرش، پرش ها از نوع پرش هیدرولیکی موجی به حساب می آیند. همچنین مشاهده می شود که با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار عدد فرود در مقطع اولیه پرش افزایش می یابد که منجر به قوی تر شدن پرش هیدرولیکی می شود. به نظر می رسد که اگر ارتفاع تاج سرریز از ۴ سانتیمتر بیشتر شود، جریان کاملاً زیر بحرانی شده و پرش هیدرولیکی حذف می گردد.



شکل ۵: تغییرات عدد فرود در صفحه X-Z و در مجاورت سرریز جانبی

شکل ۶ تغییرات پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز جانبی با ارتفاع تاجهای متفاوت را نشان می دهد. در هر پنج حالت پرش هیدرولیکی تشکیل شده و با کاهش ارتفاع تاج سرریز، مقدار عمق اولیه پرش کاهش یافته و محل شروع پرش هیدرولیکی به سمت پایین دست سرریز منتقل می شود. همچنین با کاهش ارتفاع تاج سرریز، میزان نوسانات سطح آب و ارتفاع پرش هیدرولیکی افزایش می یابد. به طور متوسط با هر ۰/۵ سانتیمتر افزایش ارتفاع تاج، میزان پایین افتادگی سطح آب ۳ درصد کاهش می یابد. محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) در آزمایشات خود نشان دادند که با کاهش ارتفاع تاج در یک دبی ثابت، به دلیل افزایش دبی خروجی از سرریز، پروفیل سطح آب به سمت پایین دست نقل مکان می کند. با کاهش ارتفاع تاج، پروفیل سطح آب به سمت پایین دست نقل مکان کرده است. همچنین بر اساس مشاهدات محمدی و حسین زاده دلیر (۱۳۹۲) انتظار می رفت که پروفیل سطح آب در ارتفاع تاج کمتر، پایین تر از پروفیل سطح آب در ارتفاع تاج بیشتر قرار گیرد که با توجه به شکل این حالت اتفاق افتاده است.



شکل ۹: محل شروع پرش هیدرولیکی برای ارتفاع تاج های متفاوت

۴- نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از نرم افزار ۲D-FLOW تاثیر ارتفاع تاج سرریز بر الگوی جریان سه بعدی و سطح آزاد در کانال مستطیلی دارای سرریز جانبی در شرایط تشکیل پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفته است. از روش VOF برای مدلسازی تغییرات پروفیل سطح آب استفاده شده و مدلسازی آشفتگی با مدل آشفتگی k-ε RNG انجام شد. نتایج به دست آمده از مدل عددی برای سطح آزاد در شرایطی که در مجاورت سرریز پرش هیدرولیکی تشکیل می شد، تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد. در ادامه اثر ارتفاع تاج سرریز بر مشخصات پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد که با کاهش ارتفاع تاج سرریز:

- ۱- مقدار عدد فرود در مقطع اولیه پرش افزایش می یابد که منجر به قویتر شدن پرش هیدرولیکی میشود.
- ۲- مقدار عمق اولیه پرش کاهش یافته و محل شروع پرش هیدرولیکی به سمت پایین دست سرریز منتقل می شود.
- ۳- میزان نوسانات سطح آب و ارتفاع پرش هیدرولیکی افزایش می یابد.
- ۴- مقدار ماکزیمم سرعت طولی در ابتدای پرش بیشتر شده و به سمت پایین دست حرکت می کند.
- ۵- به دلیل منحرف شدن بیشتر جریان به طرف سرریز جانبی، دبی عبوری از سرریز افزایش می یابد.

مراجع

- ASCE, 125 (10), 1051-1056.
- [۸] سامانی ح م و. (1384). مدل ریاضی یک بعدی هیدرولیک سرریزهای جانبی در شرایط وقوع پرش هیدرولیکی. مجله علوم دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره 13، 1-15.
- [9] Pathirana, K.P.P. Munas, M.M. Jaleel, A.L.A. (2006). Discharge Coefficient for Sharp-Crested Side Weir in Supercritical Flow, Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka, XXXIX(2), 17-24.
- [10] Durga Rao, K. H. V., Pillai, C. R. S. (2008). Study of Flow over Side Weirs under Supercritical Conditions, Water resources management, 22 (1), 131-143.
- [11] Emin Emiroglu, M. Agaccioglu, H. Kayaa, N. (2011). Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels, Flow Measurement and Instrumentation, 22(4), 319-330.
- [12] Bagheri, S., Heidarpour, M. (2012). Characteristics of Flow over Rectangular Sharp-Crested Side Weirs, J. Irrig. Drain Eng., 138(6), 541-547.
- [13] Tadayon, R. (2009). Modelling curvilinear flows in hydraulic structures, PhD thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- [14] Mahmodinia, S. Javan, M. Eghbalzadeh, A. (2012). The effects of the upstream Froude number on the free surface flow over the side weirs, Int. Conf. Mod. Hydr. Eng. Procedia Eng. 28(1), 644-647.
- [۱۵] قبادیان ر، (1390). شبیه سازی آزمایشگاهی و عددی جریان عبوری از سرریز جانبی در شرایط وجود پرش هیدرولیکی. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه گیلان.
- [۱۶] محمدی ک، حسین زاده دلیر ع، (1392). بررسی آزمایشگاهی پرش هیدرولیکی در سرریزهای جانبی. نشریه دانش آب و خاک، جلد 23، شماره 4، 117-129.
- [17] Sicilian, J.H., and Harper, R.P., 1987. FLOW-3D: Computational modeling power for scientists and engineers. Report FSI-87-00-1, Flow Science. Los Alamos, N.M.
- [18] Hirt C. and Nichols B., 1981. "Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries," Journal of Computational Physics., vol. 39, pp. 201-225.
- [1] Mangarulkar, K. (2010). Experimental and numerical study of the characteristics of side weir flows, M.Sc. thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.
- [2] DeMarchi, G. (1934). Essay on the performance of lateral weirs, L'Energia elettrica Milan, 11(11), 849-860 (in Italian).
- [3] Subramanya, K. and Awasthy, S. C. (1972). Spatially varied flow over side weirs, Journal of the Hydraulics Division, 98(1), 1-10.
- [4] Nadesamoorthy, T. and Thomson, A. (1972). Discussion of spatially varied flow over side weirs, Journal of Hydraulic Engineering, 98(12), 2234-5.
- [5] Hager, W. H. (1987). Lateral outflow over side weirs, J Irrig Drainage Eng ASCE, 113(12), 491-504.
- [6] Singh, R., Manivannan, D., and Satyanarayana, T. (1994). Discharge coefficient of rectangular side weirs, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120(4), 814-819.
- [7] Borghei, S.M., Jalili, M.R. and Ghodsian M. (1999). Discharge coefficient for sharp-crested side weirs in subcritical flow, Journal of the Hydraulic Division,