

آنالیز ویژگی‌های هیدرولیکی جریان زیربحرانی بر روی سرریز جانبی نیمه بیضوی و مستطیلی و تعیین ضریب دبی جریان با استفاده از روش حجم محدود

احمدرضا کریمی پور^۱، مهدی اسدی آقباغی^۲

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۰۷

چکیده

سرریزهای جانبی در رودخانه‌ها و کانال‌ها، برای کنترل دبی در کانال اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از انواع سرریزهای جانبی، سرریزهای جانبی کنگره‌ای نیمه‌بیضوی هستند و به دلیل داشتن طول تاج سرریز بزرگتر ظرفیت انتقال دبی بیشتری نسبت به سرریزهای مستطیلی دارند. به همین منظور در این مطالعه جریان پیرامون یک سرریز جانبی نیمه‌بیضوی و مستطیلی با استفاده از روش حجم محدود به صورت سه بعدی مدل‌سازی و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. هم‌چنین اثر افزایش دبی در نهر اصلی، افزایش ارتفاع و طول سرریزهای نیمه بیضوی بر الگوی جریان در شرایط جریان زیربحرانی مورد مطالعه قرار گرفت و نهایتاً نتایج حاصله با نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی سرریز مستطیلی مقایسه شد. مقایسه نتایج نشان‌دهنده برازش خوب مدل عددی در شبیه‌سازی الگوی جریان از روی سرریز جانبی بود. با افزایش ارتفاع در سرریزهای جانبی مستطیلی و نیمه‌بیضوی اثر جریان‌های ثانویه در هر دو سرریز کاسته شده و در نتیجه پروفیل سطح آب یکنواخت‌تر شده و میزان خطا کاهش پیدا می‌کند. ماکزیمم سرعت در سرریز جانبی نیمه‌بیضوی در نزدیک سطح آزاد در محل انتهای سرریز ایجاد شده و ضریب دبی جریان سرریز جانبی نیمه‌بیضوی از ضریب دبی جریان سرریز جانبی مستطیلی بیشتر است. در این مقاله معادله‌ای نیز برای تعیین ضریب دبی دیمارچی برای سرریز جانبی نیمه بیضوی ارائه گردید در شرایط جریان زیر بحرانی این ضریب به عدد فرود در کانال اصلی، نسبت عمق جریان بالادست به ارتفاع سرریز و نسبت عمق جریان بالادست به طول سرریز و نسبت شعاع کوچک به شعاع بزرگ بیضی وابسته است.

کلمات کلیدی: الگوی جریان، روش حجم محدود، سرریز جانبی، سرریز نیمه‌بیضوی، سرریز مستطیلی، ضریب دبی جریان، مدل‌سازی عددی

^۱ مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه پیام‌نور، شهرکرد، ایران، ۰۹۱۳۳۸۰۲۲۵۹، Ahm.karimipour@gmail.com (نویسنده مسئول)

^۲ عضو هیات علمی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران، ۰۹۱۷۳۰۵۳۴۱۷، Mahdi.asadi.a@gmail.com

مقدمه

جریان بالادست و نسبت طول سرریز به عمق جریان بالادست وابسته است. آن‌ها همچنین یک معادله برای تعیین ضریب دبی جریان ارائه نمودند. محمودی‌نیا و همکاران (۲۰۱۲)، اثرات عدد فرود بالادست بر روی جریان سطح آزاد سرریزهای جانبی را مورد مطالعه قرار دادند در این مطالعه جریان سطح آزاد بر روی سرریز جانبی در عددهای فرود مختلف بوسیله نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی شد. مقایسه اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی پروفیل سطح آب با نتایج شبیه‌سازی در طول خط مرکزی کانال و نرخ دبی عبوری از سرریز جانبی تطابق بسیار خوبی داشتند و این تحقیق نشان داد که با افزایش عدد فرود بالادست ناحیه جداسازی به سمت انتهای پایین دست سرریز جانبی حرکت می‌کند.

کارریزی و هنر (۱۳۸۹)، با دبی حداکثر ۲۵ لیتر بر ثانیه، ارتفاع سرریز ۱۰ سانتی‌متر در سه پهنای ۵، ۱۰ و ۱۵ سانتی‌متر با طول سرریز ۷۰ سانتی‌متر از طریق شبیه‌سازی عددی به بررسی الگوی جریان و نحوه توزیع تنش برشی بر روی انواع سرریزهای جانبی لبه پهن با شکل ورودی تیز گوشه و گرد گوشه پرداختند و نتیجه گرفتند در سرریز جانبی با ورودی گرد گوشه از میزان تنش برشی وارده بر کف و دیواره‌های سرریز نسبت به سرریز با ورودی تیز گوشه به میزان زیادی کاسته می‌شود.

با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان بیان نمود که تا کنون مطالعات کمی در ارتباط با ضریب دبی جریان و مطالعه هیدرولیکی سرریزهای نیمه‌بیضوی انجام شده است. به همین منظور در این مطالعه به بررسی اثر افزایش دبی در نهر اصلی، افزایش ارتفاع و طول سرریزهای جانبی نیمه‌بیضوی و مستطیلی بر الگوی جریان در شرایط جریان زیر بحرانی پرداخته و هم-چنین اثر افزایش ارتفاع در سرریزهای جانبی مستطیلی و نیمه‌بیضوی بر جریان‌های ثانویه و پروفیل سطح آب نیز بررسی شد. ماکزیمم مقدار سرعت در سرریز جانبی نیمه‌بیضوی تعیین و معادله‌ای جهت تعیین ضریب دبی جریان ارائه شد در نهایت نحوه توزیع پروفیل سرعت

سرریزهای جانبی سازه‌های منحرف کننده جریان بوده که در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، کنترل سیلاب و سیستم‌های فاضلاب شهری کاربرد فراوانی دارند. این سازه‌ها در دیواره کانال‌ها یا آبراهه‌ها تعبیه شده و هنگامی که تراز سطح آب در کانال از تاج سرریز بالاتر می‌رود بخشی از آب وارد کانال فرعی می‌شود. سرریزها بر حسب شکل تاج و اینکه آیا تمام یا قسمتی از عرض کانال را گرفته‌اند تقسیم بندی می‌شوند. یکی از انواع سرریز جانبی سرریز نیمه‌بیضوی بوده که تاج آن بصورت غیرخطی بوده و طول تاج آن بیشتر از سرریزهای خطی است. پژوهش‌های زیادی در ارتباط با سرریزهای جانبی صورت گرفته است. دی مارچی (۱۹۳۴) برای اولین بار و با فرض ثابت بودن انرژی در طول سرریز و ناچیز بودن اصطکاک معادله جریان متغیر مکانی با کاهش دبی را برای کانال‌های افقی مستطیلی حل نمود.

نکویی و برقی (۱۳۸۵) تحقیقات خود را بر روی سرریزهای تک منقاری و دومنقاری انجام دادند. آن‌ها به بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر ضریب دبی عبوری پرداخته و معادله‌ای برای این سرریزها با استفاده از نرم افزار SPSS و روش PLC ارائه دادند. زهیری و همکاران (۲۰۱۳)، معادله‌ای را برای تعیین ضریب دبی جریان در سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی در شرایط جریان زیر بحرانی ارائه دادند. در این مطالعه آن‌ها بیان نمودند که ضریب دبی جریان تابعی از عدد فرود بالادست، نسبت ارتفاع تاج به عمق آب بالادست، نسبت طول تاج به عمق آب بالادست می‌باشد و نتایج حاصل از این معادله با نتایج آزمایشگاهی تطابق خیلی خوبی داشت.

رحیم‌پور و همکاران (۲۰۱۱)، ویژگی‌های هیدرولیکی سرریزهای جانبی دوزنقه‌ای لبه تیز را به صورت تئوری و آزمایشگاهی مورد مطالعه و نشان دادند که ضریب دبی دیمارچی برای سرریز جانبی دوزنقه‌ای در شرایط جریان زیر بحرانی به عدد فرود در کانال اصلی، شیب جانبی سرریز، نسبت ارتفاع سرریز به عمق

دیگری همچون روش‌های لاگرانژی نیز وجود دارند که معمولاً ساده‌تر بوده و زمان محاسباتی کمتری می‌خواهند اما روش‌های رویکرد اولری بسیار زمان بر هستند. روش‌های دیگری به جز VOF در شبیه‌سازی جریان‌های دارای سطح آزاد بکار می‌روند که می‌توان به روش‌های Rigid Lid و L-S اشاره کرد. طبق مطالعات انجام شده روش L-S فقط در مطالعه شکست امواج دقت مناسبی دارد و در بقیه موارد از دقت کافی برخوردار نیست و انطباق روش VOF با نتایج آزمایشگاهی بسیار بهتر از روش Rigid Lid است. عملکرد روش Rigid Lid در پیش‌بینی مکانیزم‌های جریان که در نزدیکی سطح رخ می‌دهد ضعیف است در حالی که روش VOF علاوه بر الگوی کلی جریان، رخدادهای سطحی را با دقت بسیار خوبی پیش‌بینی می‌نماید. بنابراین با توجه به شرایط حاکم بر مطالعه (هر دو فاز آب و هوا) و دقت بالای روش VOF و انطباق نتایج آن با داده‌های آزمایشگاهی از روش VOF برای شبیه‌سازی جریان سطح آزاد استفاده شده است.

شبکه‌بندی و هندسه جریان

در این مطالعه به منظور کالیبره کردن و صحت-سنجی مدل عددی از نتایج آزمایش‌های جهادی (۱۳۹۲) در دانشگاه شهرکرد (مقادیر تراز آب روی سرریز) بهره گرفته شده است. در این مدل آزمایشگاهی نهر مستطیل شکل دارای عرض کلی ۶۰ و طول ۲۰۰ سانتی‌متر می‌باشد. این نهر به دو بخش نهر اصلی و فرعی به موازات یکدیگر تقسیم شده است. نهر اصلی و فرعی هر دو دارای عرض ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر می‌باشند. نهر فرعی، آب تخلیه‌شده به‌وسیله‌ی سرریز جانبی را به حوضچه انتهایی منتقل می‌کند. در جدول ۱ داده‌های استفاده شده در شبیه‌سازی عددی، به‌طور خلاصه آورده شده است. نیمرخ سطح آب در مجاورت سرریز، در ۴ گروه A و B و C و D با طول و ارتفاع مختلف مطابق جدول ۱ و تغییرات سرعت در فاصله ۷/۵ سانتی‌متری از لبه سرریز به ازای دبی‌های مختلف کانال، مورد بررسی قرار گرفت.

برای سرریز ساده و نحوه سرعت جریان در سرریز جانبی نیمه‌بیضوی نیز بیان گردید.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم بر جریان

به منظور شبیه‌سازی عددی جریان در اطراف سرریز جانبی از نرم‌افزار انسیس استفاده شد. معادلات حاکم بر جریان غیرقابل تراکم، معادله پیوستگی (۱) و

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho U) + \nabla \cdot (\rho U U) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau) \quad (2)$$

که:

$$\tau = \mu \left[\left(\nabla U + \nabla U^T \right) - \frac{2}{3} \nabla U \right] \quad (3)$$

معادله ناویر استوکس (۲) می‌باشند:

که در آن:

ρ : چگالی، U : سرعت جریان، t : زمان، p : فشار، μ : ویسکوزیته دینامیکی و T : تنش برشی سیال می‌باشد.

برای مدل‌سازی عددی از نرم‌افزار انسیس استفاده شد. اساس حل معادلات حاکم بر جریان در این نرم‌افزار روش حجم محدود است. روش حجم محدود نوعی از روش اجزاء محدود است. این روش زمان همگرایی کمتر و نتایج بهتری را در مرزها نسبت به روش اجزا محدود و تفاضل محدود از خود نشان می‌دهد. در این روش از توابع شکل برای توصیف تغییر متغیرها روی یک المان استفاده می‌شود. در این پروفیل سطح آزاد جریان با بهره‌گیری از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ و رویکرد اولری، شبیه‌سازی و معادلات برای هر دو فاز آب و هوا حل شده و مرز به عنوان جایی که تغییرات شدید در ویژگی سیال رخ می‌دهد شناخته می‌شود.

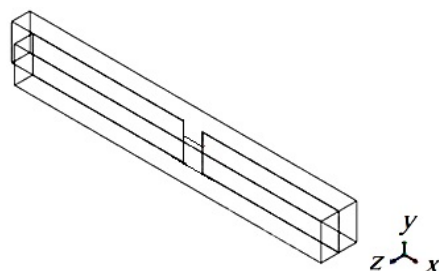
شکل سطح آزاد در این روش با سلول‌هایی که بصورت جزئی پر شده‌اند معلوم می‌شود. روش‌های VOF و L-S در این گروه قرار می‌گیرند. روش‌های

هندسه جریان در نرم افزار انسیس برای دو نوع سرریز مستطیلی و نیمه بیضوی رسم شد که در شکل ۱ ارائه شده است.

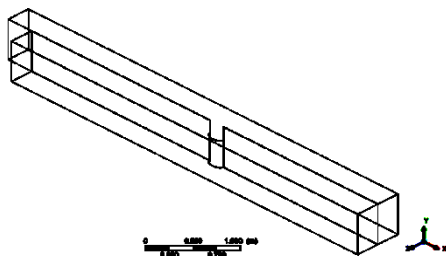
به منظور شبیه سازی جریان پیرامون این سازه، طول کانال بالادست سرریز جانبی ۳ متر و طول کانال پایین دست سرریز جانبی ۲/۳ متر اختیار گردید و

جدول (۱): مشخصات سرریزهای گروه C و D و A و B

گروه	طول سرریز (متر)	ارتفاع سرریز (متر)	دبی ورودی Q در کانال اصلی (لیتر بر ثانیه)	عمق آب بالادست، (Y ₁) سانتیمتر
C	۰/۴	۰/۲	۵۱/۸۷	۲۱/۳
D	۰/۴	۰/۴	۴۹/۷	۴۲/۱
A	۰/۲	۰/۲	۴۶/۹۳	۲۳/۱
B	۰/۲	۰/۴	۴۶/۹۷	۴۴/۳



سرریز جانبی مستطیلی

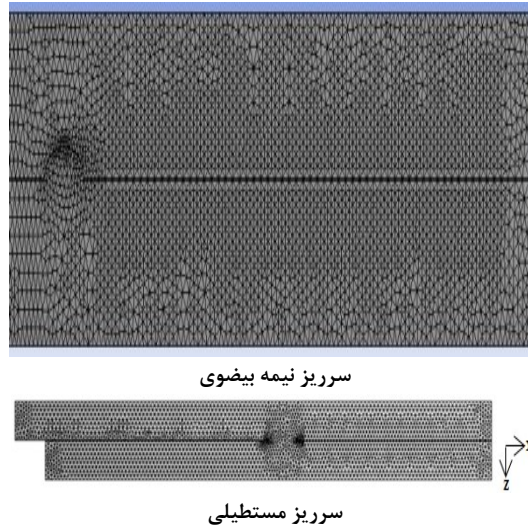


سرریز جانبی نیمه بیضوی

شکل (۱): هندسه کانال مورد استفاده

شبکه بندی در فاصله دور از سطوح، که گرادیان سرعت در آن کم بود، حداکثر ۴۵ میلی متر در نظر گرفته شد. اندازه شبکه بندی در نزدیکی سرریز، حداقل ۰/۴ میلی متر منظور شد و تا فاصله ۳۰ میلی متر از اطراف سرریز از چنین شبکه بندی ریزی استفاده شد و در مجموع در کل هندسه ۱۶۰۰۰۰۰ سلول ایجاد شد که در شکل ۲ نمایش داده شده است.

آنالیز حساسیت روی تعداد گره های شبکه مدل انجام شد و در نهایت جهت بیشترین تطابق بین نتایج تجربی و عددی، اندازه شبکه بندی در نزدیکی سطوح از ۱۰ میلی متر شروع، به تدریج افزایش یافته و در نهایت به ۳۰ میلی متر رسید. روی سطوح از شبکه بندی لایه مرزی استفاده شد. ضخامت اولین لایه از شبکه بندی، ۰/۲ میلی متر در نظر گرفته شد و با نسبت ۱/۲ اندازه المان های لایه مرزی افزایش پیدا کرد. اندازه



شکل (۲): شبکه بندی صورت گرفته برای میدان جریان در پلان

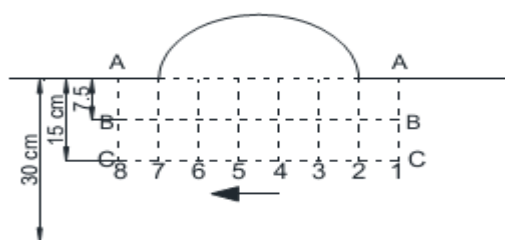
داده شده است. در این مرز، آب نمی تواند وارد یا خارج شود و روی دیواره ها نیز شرط عدم لغزش برقرار شده است.

نتایج

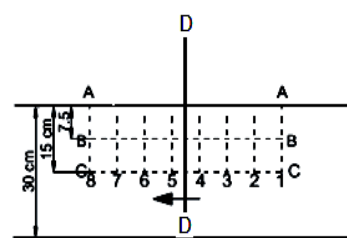
در شکل های ۳ و ۴ محورهای A-A و B-B که در آن ها به ترتیب مقادیر تراز سطح آب و سرعت جریان در مجاورت سرریز جانبی اندازه گیری شده است نمایش داده شده اند. همچنین برای بررسی بهتر نتایج محوره های ۱ تا ۸ در این شکل تعریف شده اند.

شرایط مرزی

در ورودی کانال از شرط مرزی سرعت یکنواخت استفاده شد. در مرز خروجی، فشار هیدرواستاتیک آب با توجه به سطح دینامیکی آب در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که در این مسئله، دو مرز برای خروج سیال وجود دارد. یکی برای خروجی کانال اصلی و دیگری برای خروجی کانال فرعی، چون سطح آب در این دو کانال متفاوت است، در هر کانال متناسب با سطح آب موجود، فشار هیدرواستاتیک اعمال شده است. در بخش فوقانی، اجازه ورود و خروج هوا به سیال



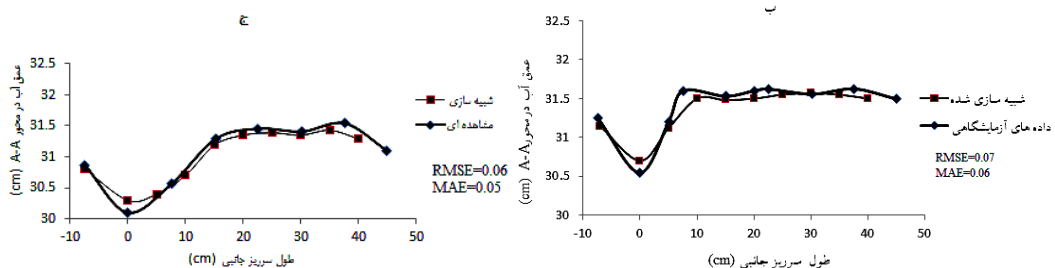
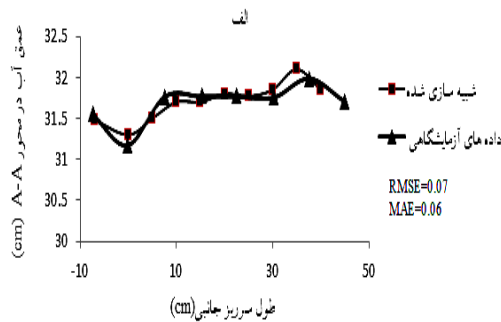
شکل (۴): نمایش محورهای A-A و B-B در مجاورت سرریز جانبی نیمه بیضوی



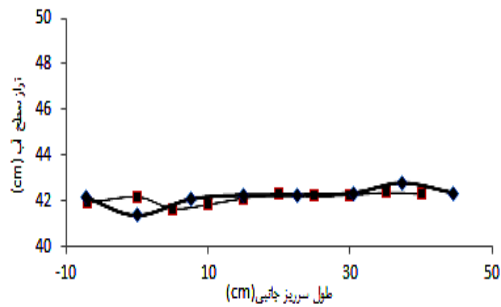
شکل (۳): نمایش محورهای A-A و B-B و D-D و محورهای ۱ تا ۸ در سرریز جانبی مستطیلی.

آزمایشگاهی و داده‌های شبیه‌سازی شده وجود دارد. کل‌های ۶ و ۷ پروفیل طولی سطح آب را در امتداد محور A-A به ترتیب برای سرریزهای گروه C و D نشان می‌دهند. همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهند پروفیل سطح آب حاصل از شبیه‌سازی عددی مربوط به سرریزهای گروه C و D دارای تطابق خوبی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی است فقط در ابتدا و انتهای شکل‌ها مقداری اختلاف وجود دارد که به ترتیب به دلیل تأثیر ورودی جریان و جریان‌های ثانویه می‌باشد. این شکل‌ها همچنین بیانگر آن است که با افزایش دبی در کانال اصلی، تراز سطح آب در طول سرریز جانبی افزایش یافته و با افزایش ارتفاع در سرریز جانبی اثر جریان‌های ثانویه کاسته شده و در نتیجه پروفیل سطح آب یکنواخت‌تر می‌گردد. این یکنواختی را می‌توان در شکل ۷ (سرریز گروه D) مشاهده کرد.

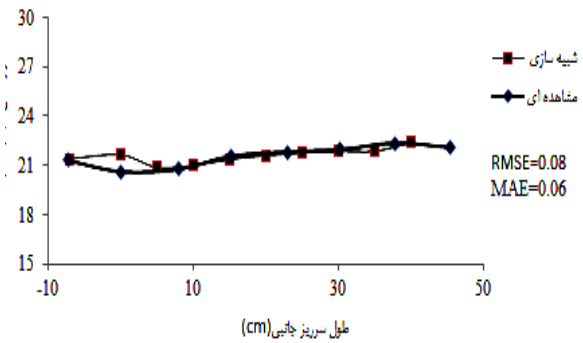
پروفیل طولی سطح آب در امتداد محور A-A سرریز جانبی، برای مدل شبیه‌سازی شده و مدل آزمایشگاهی در شکل‌های ۵-الف، ۵-ب و ۵-ج، ترسیم شده است. این شکل‌ها برای یک سرریز ساده به طول ۴۰ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر ترسیم شده‌اند. نتایج بیانگر آن است که رقوم سطح آب در کنار سرریز جانبی ساده ابتدا روند نزولی پیدا می‌کند و به کمترین مقدار خود می‌رسد که علت آن تأثیر سرریز جانبی بر جریان آب بالادست می‌باشد سپس تراز سطح آب افزایش پیدا می‌کند. پیدایش چنین پدیده‌ای به واسطه وجود جریان‌های ثانویه ناشی از جدایی جریان منحرف شده به وسیله‌ی سرریز جانبی می‌باشد (Emiroglu et al., 2011). هر چه شدت جریان‌های ثانویه بیشتر باشد، این روند صعودی نیز افزایش می‌یابد. همان‌طور که شکل‌ها نشان می‌دهند تطابق خوبی بین داده‌های



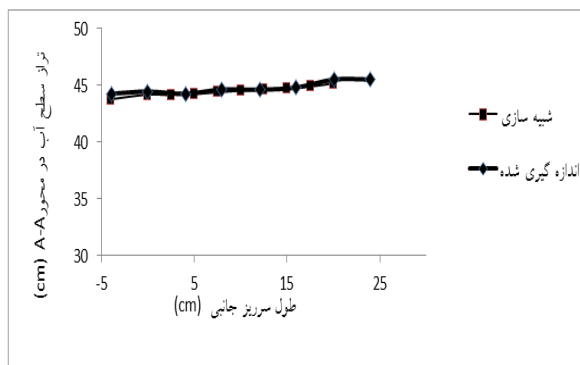
شکل ۵- شکل پروفیل طولی سطح آب در امتداد محور A-A سرریز جانبی ساده برای دبی‌های الف) ۲۷/۶۴ لیتر بر ثانیه و ب) ۵۰/۳ لیتر بر ثانیه و ج) ۶۲/۴ لیتر بر ثانیه.



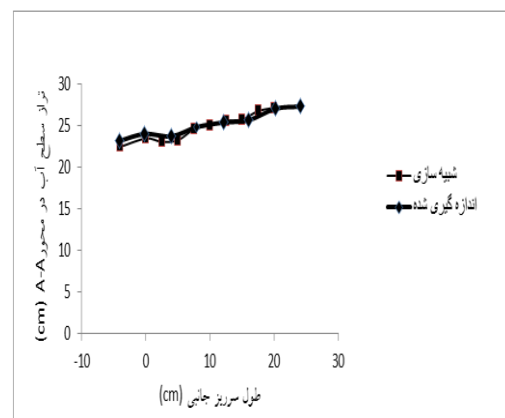
شکل (۷): شکل پروفیل طولی سطح آب در امتداد محور A-A سرریز جانبی برای دبی ۴۹/۷ لیتر بر ثانیه (سرریز گروه (b/a=0).D)



شکل (۶): شکل پروفیل طولی سطح آب در امتداد محور A-A سرریز جانبی برای دبی ۵۱/۸۷ لیتر بر ثانیه (سرریز گروه (b/a=0).c)



شکل (۹): مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی و آزمایشگاهی در سرریز B (b/a=0.6)

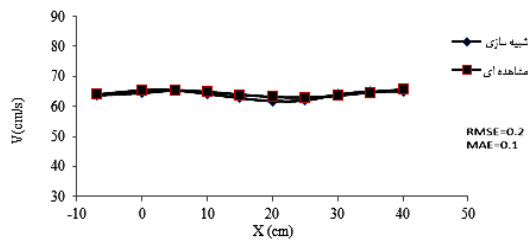


شکل (۸): مقایسه پروفیل سطح آب بین مدل عددی و آزمایشگاهی در سرریز A (b/a=0.6)

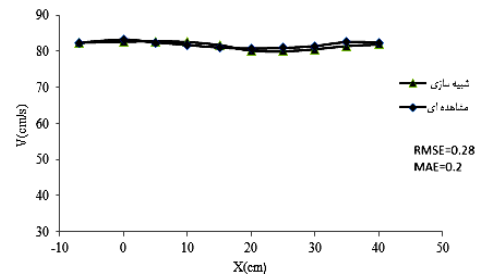
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ پروفیل سرعت در یک سرریز ساده به ارتفاع ۳۰ و طول ۴۰ سانتی‌متر در امتداد محور B-B (در محدوده ۷/۵ سانتی‌متری از دیواره کانال) در عمق ۰/۶ سانتی‌متر از سطح آب را نشان می‌دهد. پروفیل سرعت حاصل از شبیه‌سازی عددی دارای تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی است و برای دو دبی ۶۲/۴ و ۵۰/۳ لیتر بر ثانیه این مقایسه صورت گرفته است همان‌طور که از شکل‌ها مشخص وجود، نرخ افزایش سرعت در انتهای سرریز بیشتر است، که بیانگر تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی می‌باشد.

پروفیل سطح آب حاصل از شبیه‌سازی عددی مربوط به سرریزهای گروه A و B (سرریزهای نیمه‌بیضوی) دارای تطابق خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده آزمایشگاهی دارد و تا قبل از ابتدای سرریز مقدار کمی با هم اختلاف دارند. در ابتدای سرریز از این اختلاف بیشتر کاسته می‌شود (شکل‌های ۸ و ۹).

همان‌طور که در مقایسه شکل‌های ۵، ۸، و ۹ مشاهده می‌شود انحنای سرریز نیمه‌بیضوی (b/a) یعنی نسبت شعاع کوچک به شعاع بزرگ سرریز نیمه‌بیضوی موجب هموارتر شدن پروفیل سطح آب بر اثر افزایش طول سرریز می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پروفیل سطح آب در سرریزهای نیمه‌بیضوی یکنواخت‌تر از پروفیل سطح آب در سرریزهای ساده می‌باشد.



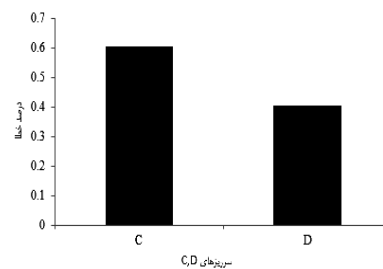
شکل (۱۱): پروفیل سرعت در امتداد محور B-B برای دبی ۵۰/۳ لیتر بر ثانیه.



شکل (۱۰): پروفیل سرعت در امتداد محور B-B برای دبی ۶۲/۴ لیتر بر ثانیه.

سرریزهای گروه A و B مورد بحث و بررسی قرار گرفت و در شکل ۱۳ این میزان خطا نمایش داده شد. از مقایسه‌ی میزان متوسط خطا و نیمرخ‌های به دست آمده در گروه‌های A با B می‌توان بیان نمود که با افزایش ارتفاع تأثیر جریان‌های ثانویه کمتر شده که در نتیجه منجر به کاهش میزان خطا گردیده است. همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود در سرریز گروه A مقدار خطا بیشتر می‌باشد و علت آن تأثیر بیشتر جریان‌های ثانویه در سرریزهایی با طول و ارتفاع کمتر سرریز بوده که خود موجب افزایش ارتفاع سطح آب می‌شود.

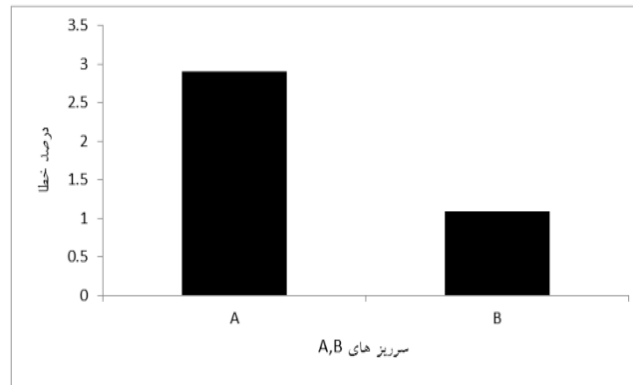
به منظور مقایسه بهتر نتایج شبیه‌سازی عددی و مقادیر اندازه‌گیری شده مقدار خطای بین این دو روش محاسبه و در شکل ۱۲ این میزان خطا برای سرریزهای گروه C و D نمایش داده شده است.^۱ از مقایسه‌ی میزان متوسط خطا و نیمرخ‌های به دست آمده در سرریزهای گروه‌های C با D می‌توان بیان نمود که با افزایش ارتفاع سرریز، تأثیر جریان‌های ثانویه کاهش یافته که در نتیجه منجر به کاهش میزان خطا گردیده است. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود در سرریز گروه C مقدار خطا بیشتر می‌باشد و علت آن تأثیر بیشتر جریان‌های ثانویه در ارتفاعات کمتر سرریز می‌باشد.



شکل (۱۲): میزان خطای حاصل از شبیه‌سازی عددی با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریزهای C و D

همچنین خطای حاصل شده از طریق حل شبیه‌سازی عددی با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای

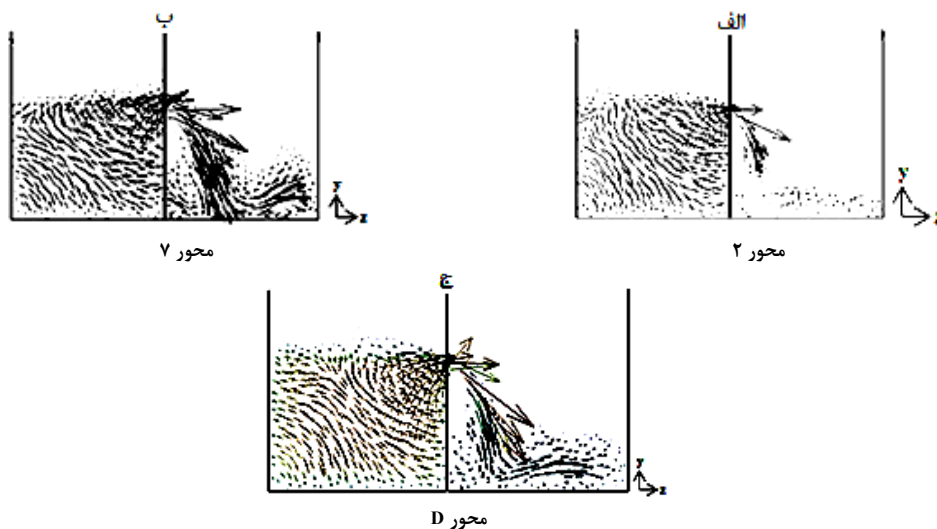
^۱ مقدار خطا از نسبت تفاوت مقادیر حاصل از حل شبیه‌سازی عددی با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به میانگین عمق آب در کنار سرریز محاسبه شد.



شکل (۱۳): میزان خطای حاصل از شبیه‌سازی عددی با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز A و B

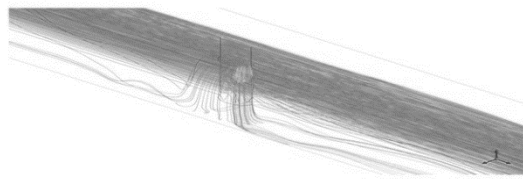
قابل‌ملاحظه است. با مقایسه این شکل‌ها مشخص می‌شود که حداکثر سرعت در مقطع D اتفاق می‌افتد و مقدار آن برابر با $0/94$ متر بر ثانیه است. همچنین جریان چرخشی در کانال اصلی به خوبی قابل مشاهده است.

بردارهای سرعت برای سرریز گروه C در محورهای ۲، ۷ و D، به ترتیب، در شکل‌های ۱۴ الف، ب و ج ترسیم گردیده است. حداکثر سرعت آب بر روی تاج سرریز مشاهده شده و در این حالت جریان بر روی این سرریز کاملاً سه‌بعدی است و گرادیان قائم سرعت



شکل (۱۴): نمایش بردارهای سرعت در سرریز C و در محور الف (۲، ب) ۷ و ج) D.

همچنین نمایش خطوط جریان گذرنده از روی سرریز جانبی برای سرریز گروه B در شکل ۱۵ نمایش داده شده است همانطور که در شکل مشاهده می‌شود خطوط جریان در روی تاج سرریز دارای انحنای قابل ملاحظه‌ای بوده و این انحنای در پایین دهانه سرریز بیشتر می‌گردند.



شکل (۱۵): نمایش خطوط جریان گذرنده از روی سرریز جانبی برای سرریز گروه B

چنین گردابه‌ای بدلیل بیشتر بودن اندازه حرکت نهر اصلی نسبت به نهر فرعی می‌باشد و اندرکنش اندازه حرکت در دو راستای متفاوت موجب بوجود آمدن چنین گردابه‌ای می‌شود

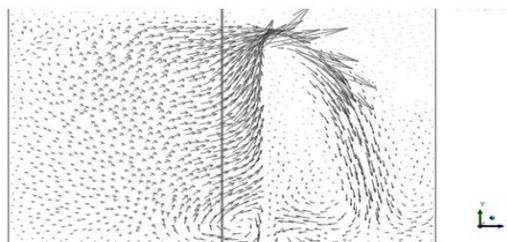
در شکل ۱۶ خطوط جریان شبیه‌سازی شده در تراز نزدیک تاج سرریز برای سرریز گروه B نمایش داده شده است همانطور که در شکل مشخص است ناحیه گردابه‌ای در کانال فرعی ایجاد می‌شود علت پدید آمدن



شکل (۱۶): پروفیل خطوط جریان شبیه‌سازی شده در تراز نزدیک تاج سرریز برای سرریز گروه B

در نزدیک سطح آزاد در محل انتهای سرریز جانبی ایجاد می‌شود و علت این امر وجود جریان‌های ثانویه در این ناحیه است و مقاومت هوا تاثیر چندانی بر روی آن ندارد.

در این تحقیق همچنین به بررسی نحوه سرعت جریان در محدوده ۷/۵ سانتی‌متری از سرریز (محور B-B) در سرریز نیمه بیضوی B پرداخته می‌شود. در شکل ۱۷ بردارهای سرعت در محور B-B نمایش داده شده است همانطور که در شکل مشاهده می‌شود سرعت ماکزیمم



شکل (۱۷): بردارهای سرعت در محور B-B سرریز

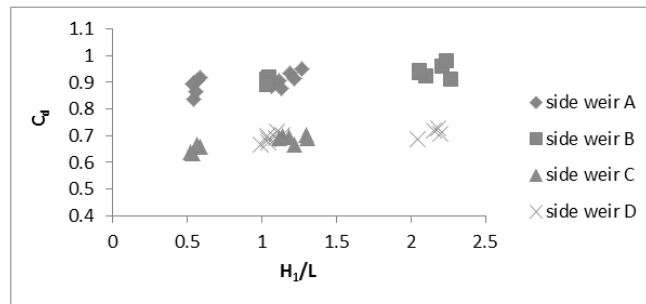
h : ارتفاع آب در ابتدای سرریز در کانال اصلی، P : ارتفاع سرریز و L : طول سرریز می‌باشد.
سپس تاثیر پارامترهای $H_1/p-1$ ، b/a و Fr_1 و H_1/L بر میزان ضریب دبی جریان عبوری از سرریز نیمه بیضوی و سرریز ساده مورد بررسی قرار گرفت و تاثیر دو پارامتر H_1/L و $H_1/p-1$ بر میزان ضریب دبی عبوری از روی سرریز در نمودارهای ۱۸ و ۱۹ ارائه گردید. پارامتر H_1 ذکر شده در اینجا همان ارتفاع آب در ابتدای سرریز در کانال اصلی می‌باشد.

ضریب دبی جریان

ضریب دبی جریان (C_d) با استفاده از مدل CFD بواسطه معادله (۱) محاسبه شد.

$$Q_w = \frac{2}{3} C_d L \sqrt{2g} [h-p]^{3/2} \quad (1)$$

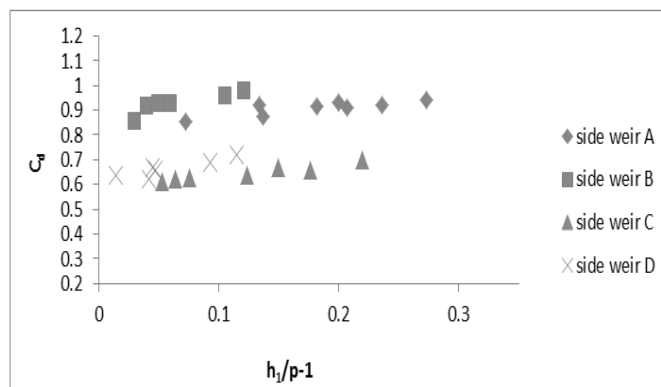
که در آن:



شکل (۱۸): نمودار تغییرات C_d در مقابل مقادیر متفاوت H_1/L برای سرریزهای ساده و نیمه بیضوی

عبوری از روی سرریز نیمه بیضوی بیشتر از سرریز ساده می‌باشد. در شکل ۱۹ نمودار تغییرات $H_1/p-1$ در مقابل ضریب دبی جریان (C_d) آورده شده است این نمودار برای سرریز ساده با نسبت $b/a=0$ و سرریز نیمه بیضوی با نسبت $b/a=0.6$ ترسیم شده است.

نتایج شکل (۱۸) نشان می‌دهد که افزایش H_1/L باعث افزایش ضریب C_d در سرریزهای نیمه بیضوی A و B می‌شود در حالی که افزایش مقدار H_1/L در سرریزهای ساده C و D تاثیر کمتری در میزان ضریب دبی عبوری از روی سرریز دارد در نتیجه میزان دبی



شکل (۱۹): نمودار تغییرات ضریب سرریز جانبی (C_d) در مقابل ارتفاع بی بعد شده ($H_1/p-1$)

$$C_d = 0.99 + .28\left(\frac{b}{a}\right) + .033\left(\frac{p}{h_1}\right) - 0.054\left(\frac{L}{B}\right) - .25\left(\frac{L}{l}\right) - .135(Fr_1) + .01\left(\frac{L}{h_1}\right) \quad (5)$$

جریان سرریزهای ساده C و D (با نسبت $b/a=0$) بیشتر است.

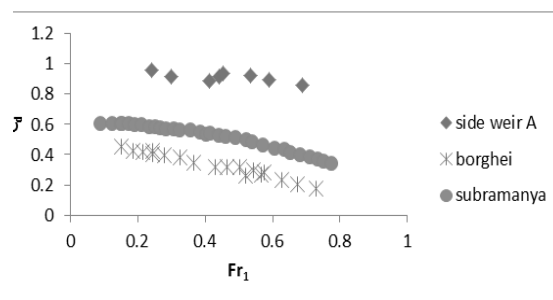
در ادامه رابطه‌ای برای پیش بینی ضریب دبی جریان (C_d) سرریز نیمه بیضوی با استفاده از رگرسیون خطی داده‌ها در نرم افزار اکسل با توجه به پارامترهای بی بعد شده ذکر شده در قسمت قبلی به صورت زیر ارائه گردید. که در آن:

شکل (۱۹) نشان می‌دهد که با افزایش نسبت $H_1/p-1$ ضریب دبی جریان در هر دو سرریز ساده و نیمه بیضوی افزایش پیدا می‌کند و با افزایش ارتفاع سرریز به دلیل وجود اصطکاک سطح سرریز، ضریب دبی جریان کاهش پیدا می‌کند و به ازاء هر مقدار $H_1/p-1$ ضریب دبی جریان (C_d) در سرریزهای نیمه بیضوی A و B (با نسبت $b/a=0.6$) از ضریب دبی

مستقیم قرار گرفته اند انجام شد و نتایج زیر براساس یافته‌ها حاصل شد:

۱- در سرریزهای ساده پروفیل سطح آب نوسانات زیادی دارد و این نوسانات به دلیل اثر جریان‌های ثانویه می‌باشد. ۲- با افزایش ارتفاع در سرریزهای مستطیلی اثر جریان‌های ثانویه کاسته شده و در نتیجه پروفیل سطح آب یکنواخت‌تر می‌گردد. ۳- حداکثر مقدار سرعت در تاج سرریز ساده اتفاق می‌افتد و مربوط به مقطع D می‌باشد. ۴- در سرریزهای جانبی ساده و نیمه‌بیضی پروفیل سطح آب برای حالت زیربحرانی به صورت صعودی می‌باشد. ۵- با افزایش ارتفاع در سرریزهای نیمه‌بیضی اثر جریان‌های ثانویه کاسته شده و در نتیجه پروفیل سطح آب یکنواخت‌تر و میزان خطا کاهش پیدا می‌کند. ۶- در تراز نزدیک تاج سرریز نیمه‌بیضی ناحیه گردابه‌ای در کانال فرعی ایجاد می‌شود علت پدید آمدن چنین گردابه‌ای به دلیل بیشتر بودن اندازه حرکت نهر اصلی نسبت به نهر فرعی می‌باشد و اندرکنش اندازه حرکت در دو راستای متفاوت موجب وجود آمدن چنین گردابه‌ای می‌شود. ۷- سرعت ماکزیمم در نزدیک سطح آزاد در محل انتهای سرریز جانبی نیمه‌بیضی ایجاد می‌شود و علت این امر وجود جریان‌های ثانویه در این ناحیه است و مقاومت هوا تاثیر چندانی بر روی آن ندارد. ضریب دبی جریان سرریز جانبی نیمه‌بیضی از ضریب دبی جریان سرریز جانبی مستطیلی بیشتر است. ۸- ضریب دبی جریان با افزایش $H_1/p-1$ و H_1/L افزایش پیدا می‌کند و این تغییرات در سرریز نیمه بیضی چشمگیرتر می‌باشد. تغییرات Fr_1 باعث تغییرات شدید ضریب C_d می‌شود. با افزایش (b/a) یعنی نسبت شعاع کوچک به شعاع بزرگ سرریز نیمه‌بیضی (بر اثر افزایش طول سرریز) موجب هموارتر شدن پروفیل سطح آب می‌شود.

Fr_1 : عدد فرود، C_d : ضریب بی بعد دبی جریان، P : ارتفاع تاج سرریز، L : طول یا عرض سرریز جانبی، B : عرض کانال اصلی، L : طول سرریز شونده سرریز جانبی و h_1 عمق جریان در انتهای بالادست سرریز جانبی در کانال اصلی می‌باشند. این رابطه در حالت $0 \leq \frac{b}{a} \leq 0.6$ معتبر می‌باشد. ضریب همبستگی این معادله 0.95 می‌باشد. مقایسه مقادیر ضریب دبی سرریز نیمه بیضی با نسبت $b/a=0.6$ با مقادیر ضریب دبی معادلات برقی (۱۹۹۹) و سابرامانیا (۱۹۷۲) در شکل ۲۰ نمایش داده شده است. مقادیر ضریب دبی جریان ارائه شده توسط سابرامانیا و برقی برای سرریز جانبی مستطیلی ارائه شده‌اند و همانطور که در شکل مشخص است مقادیر ضریب دبی جریان سرریز جانبی نیمه بیضی به طور قابل توجهی از مقادیر مطالعات دیگر بزرگتر هستند. دلیل افزایش ضریب دبی جریان سرریز جانبی نیمه بیضی به افزایش طول سرریز شونده این سرریز نسبت داده می‌شود.



شکل (۲۰): مقایسه مقادیر C_d سرریز جانبی نیمه بیضی با مقادیر بدست آمده توسط معادلات برقی و سابرامانیا

نتیجه‌گیری

در این مطالعه آنالیز CFD سرریز جانبی نیمه-بیضی و سرریز جانبی ساده که بر روی یک کانال

منابع

- جهادی، م. و ر. فتاحی. ۱۳۹۲. ارزیابی نیمرخ سطح آب در سرریزهای جانبی نیمه بیضوی. مجله‌ی مهندسی منابع آب، شماره ۶، ص ۲۵-۳۶.
- کاریزی، ا. و ت. هنر. ۱۳۸۹. بررسی الگوی جریان و توزیع تنش برشی روی سرریزهای جانبی با ورودی تیز گوشه و گرد گوشه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۱، ص ۲۵-۱۵.
- نکوئی، م.ع. و م. برقی. ۱۳۸۵. بررسی و تعیین ضریب دبی سرریز جانبی منقاری بصورت آزمایشگاهی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد (مهندسی آب)، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده فنی و مهندسی، گروه عمران، ۱۳۸۵.
- Borghei, M., M. R. Jalili and M. Ghodsian. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, 125(10): 1051-6.
- Emiroglu, M. E., O. Bilhan and O. Kisi. 2011. Neutral networks for estimation of discharge capacity of triangular labyrinth side-weir located on a straight channel. *Expert systems with application*, 38: 867-874.
- De-Marchi, G. 1934. *Saggio di teoria fuzionamente degli stramazzi laterali*. L. Eletterica, Milano, Italy 11. 11: 849-860.
- Mahmodinia, S., M. Javan and A. Eghbalzadeh. 2012. The Effects of the Upstream Froude Number on the Free Surface Flow over the Side Weirs. *International Conference on Modern Hydraulic Engineering, Procedia Engineering*, 2012, 28:644 – 647.
- Rahimpour, M., Z. Keshavarz and M. M. Ahmadi. 2011. Flow over trapezoidal side weir. *Flow Measurement and Instrumentation*, 22: 507-510.
- Subramanya, K. and S. C. Awasthy. 1972. Spatially varied flow over side weirs. *Journal of the Hydraulics Division-ASCE*, 98(1): 1-10.
- Zahiri, A., H. Md. Azamathulla and S. Bagheri. 2013. Discharge coefficient for compound sharp crested side weirs in subcritical flow conditions. *Journal of Hydrology*, 480: 162-166.

Analysis of hydraulic characteristics of Subcritical flow on semi-elliptical and rectangular side weir and determining discharge coefficient using finite volume method

Ahmadreza karimipour¹, Mahdi Asadi Aghbolaghi²

Abstract

Side weirs are used to control the amount of discharge in main channels and rivers. One of the types of side weirs are labyrinth Semi-elliptical side weir and Due to the greater crest length in a certain range of transverse, have more the discharge capacity than rectangular weirs. For these reasons in this study, flow around a semi-elliptical and rectangular labyrinth side weir was simulated with three-dimensional modeling finite volume and compared with laboratory measurement. The effects of increasing the flow in the main channel and the height and length semi-elliptical side weirs on flow pattern in subcritical flow conditions were studied and finally the experimental results were compared with the simulated results for rectangular side weir. Numerical results indicated that the model can predict the the flow pattern on the side weir with high accuracy. The results of the simulation showed that the effects of secondary flows in both weirs were reduced by increasing the height of the rectangular and semi-elliptical side weirs and then, the water surface profile would be more uniform and the error rate decreases. The maximum of velocity in semi-elliptical side weir is induced in the near of free surface at the end of the side weir and the discharge coefficient of semi-elliptical side weir is more than rectangular side weir. In this study an equation was offered in order to determine De-Marchi discharge coefficient for semi-elliptical side weir. This coefficient in subcritical flow conditions depends on the Froude number in the main channel, the ratio of upstream depth to the height of side weir, the ratio of upstream depth to the length of side weir and the ratio of small ellipse radius to large ellipse radius.

Keywords: Numerical modeling, Finite volume method, semi-elliptical side weir, rectangular side weir, discharge coefficient

¹ Instructor, Dept. of Civil Engineering, Payame Noor University, Shahrekord; Ahm.karimipour@gmail.com, corresponding Author

² Assistant Professor, Dept of Water Engineering, School of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord; Iran, Mahdi.asadi.a@gmail.com