

بررسی عددی اثر عدد فرود بالادست بر الگو و مشخصات جریان در امتداد سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی

سعید غفاری^۱، افشین اقبال زاده^{۲*}، میترا جوان^۳

۱. دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی عمران-آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲ و ۳. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه - پژوهشکده تحقیقات پیشرفته آب و فاضلاب

eghbalzadeh@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱/۲۶]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۹/۲۹]

چکیده - سرریزهای جانبی دارای کاربرد گسترده‌ای در مهندسی هیدرولیک است، که به علت حساسیت موضوع نیاز به طراحی و بررسی دقیق دارند. در این مقاله جریان عبوری از سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی واقع در کانال باز با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D شبیه‌سازی شده است. مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG به منظور بستن معادلات ناویراستوکس و روش VOF برای مدل سازی تغییرات پروفیل سطح آزاد به کار رفته است. در این پژوهش پس از درستی‌آزمایی نتایج مربوط به توزیع مولفه‌های مختلف سرعت و زاویه‌ی جت خروجی در مجاورت تاج سرریز جانبی در ارتفاع‌های مختلف از تاج سرریز با داده‌های آزمایشگاهی، به بررسی آثار عدد فرود بالادست سرریز جانبی بر الگو و مشخصات جریان در امتداد سرریز جانبی پرداخته می‌شود. نتایج در این مطالعه نشان می‌دهد، با کاهش عدد فرود، بیشترین و کمترین سرعت طولی در طول سرریز جانبی به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. با کاهش عدد فرود، بیشترین سرعت جانبی در طول سرریز جانبی افزایش می‌یابد، که بیانگر افزایش دبی عبوری از سرریز جانبی است. همچنین توزیع مولفه‌های مختلف سرعت در برابر تغییرات ارتفاع جریان روی وسط تاج سرریز برای عدد فرودهای متفاوت نشان می‌دهد، با کاهش عدد فرود، توزیع سرعت طولی در راستای ارتفاع به ویژه در نزدیک تاج سرریز غیر یکنواخت‌تر می‌شود. برای اعداد فرود متفاوت، سرعت جانبی تا ارتفاع معینی از روی تاج سرریز افزایش می‌یابد و سپس با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به سطح آزاد جریان مقدار آن کاهش می‌یابد. ماکزیمم سرعت قائم برای عدد فرودهای متفاوت، در نزدیکی تاج سرریز رخ می‌دهد و با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به سطح آزاد جریان مقدار آن به تدریج کاهش می‌یابد. با کاهش عدد فرود، سرعت قائم در نزدیکی سطح آزاد جریان به دلیل حرکت جریان به سمت پایین منفی است. در خصوص سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز جانبی، با افزایش عدد فرود بالادست، عمق سطح آب در انتهای سرریز جانبی دچار تغییرات شدیدی می‌شود.

واژگان کلیدی: سرریز جانبی، نرم افزار FLOW-3D، عدد فرود، الگوی جریان، توزیع سرعت

۱- مقدمه

پایین دست و همچنین به عنوان سازه اضطراری در تأسیسات هیدرولیکی بزرگ چون سدها و شبکه‌های آبیاری و زهکشی به کار برده می‌شود. جریان عبوری از روی سرریز جانبی، جریان متغییر مکانی همراه با کاهش دبی محسوب می‌شود. با توجه به ساختار سه بعدی و پیچیده الگوی جریان عبوری از سرریز جانبی، همواره بررسی هیدرولیک این جریان مورد توجه پژوهشگران بسیاری بوده است که در گذشته پژوهش‌های مختلفی به صورت آزمایشگاهی و عددی در

سرریزهای جانبی یکی از کاربردی‌ترین انواع سازه‌های انحراف جریان محسوب می‌شود که در دیواره جانبی کانال اصلی احداث شده و هنگامی که سطح آب در کانال بالاتر از تاج سرریز قرار می‌گیرد، قسمتی از جریان به وسیله آن به خارج از کانال هدایت می‌شود. سرریزهای جانبی در انحراف آب اضافی در سیستم‌های جمع آوری فاضلاب شهری، کنترل دبی مازاد رودخانه و کانال‌ها و انحراف سیلاب به آبراه‌های

نظرگرفتند و با استفاده از نتایج آزمایشگاهی و پارامترهای موثر در این مطالعه، روابطی را برای محاسبه ضریب دبی سرریزهای جانبی مستطیلی با تاج شیبدار به دست آوردند [۶]. امیراقلو و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی آزمایشگاهی مشخصات جریان و اثر ابعاد هندسی سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز روی ضریب دبی خروجی از سرریز جانبی با عدد فرودهای متفاوت بالادست پرداختند [۷]. کایا و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی و مقایسه‌ی ضریب دبی سرریز جانبی کنگره ای منحنی شکل با سرریز جانبی کنگره‌ای مثلثی و سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز که امیراقلو و همکاران (۲۰۱۱) کار کرده بودند، پرداخته‌اند. آنها به این نتیجه رسیدند که مقدار ضریب دبی برای سرریز منحنی شکل کم‌تر از سرریز جانبی کنگره‌ای مثلثی و بیشتر از سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز است [۸]. باقری و حیدرپور (۲۰۱۲) به بررسی آزمایشگاهی توزیع مولفه‌های مختلف سرعت، توزیع دبی موضعی و تغییرات زاویه خروجی جت جریان در مجاورت تاج سرریز جانبی مستطیلی پرداختند [۹]. با توجه به اینکه پژوهش‌های آزمایشگاهی زمان بر و هزینه بر است و دارای محدودیت‌هایی از قبیل انعطاف‌پذیری در تحلیل و بررسی پارامترهای هیدرولیکی است و با توجه به اینکه در طبیعت ساختار و الگوی جریان عبوری از سرریزهای جانبی سه بعدی و پیچیده است، لزوم گسترش مطالعات در اطراف سرریزهای جانبی در کانال مستقیم را بیشتر می‌کند. بنابراین شبیه‌سازی عددی می‌تواند گزینه مناسبی برای بررسی و مطالعه کلی جریان در اطراف سرریزهای جانبی مورد استفاده قرار گیرد. همچنین مطالعات صورت گرفته در گذشته نشان می‌دهد که با توجه به تأثیر مهم پارامتر عدد فرود بالادست بر مشخصات هیدرولیکی جریان عبوری در سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز، تاکنون مطالعات عددی جامعی به ویژه در مجاورت تاج سرریز جانبی در این زمینه انجام نگرفته است. کاریزی و هنر (۲۰۰۷) به بررسی عددی الگوی جریان و توزیع تنش برشی بر روی سرریزهای جانبی لبه پهن با ورودی تیزگوشه و گرد گوشه با استفاده از نرم افزار فلونتت پرداختند. آنها به این نتیجه دست یافتند که با گرد گوشه کردن

خصوص جریان آب در سرریزهای جانبی انجام شده است. دی‌مارچی (۱۹۳۴) با فرض اینکه انرژی کل در جریان کانال اصلی در طول سرریز جانبی بدون تغییر باقی می‌ماند، معادله دینامیکی را برای جریان متغییرمکانی همراه با کاهش دبی سرریز در کانال افقی مستطیلی با چشم‌پوشی کردن از اصطکاک آن، ارائه نمود. او همچنین برای محاسبه دبی خروجی از سرریز جانبی ضریب شدت جریان را که با نام ضریب دی‌مارچی نیز شناخته شده است، معرفی نمود. پژوهش‌های دی مارچی پایه و اساس مطالعات بعدی پژوهشگران در ارتباط با این نوع سرریزهای جانبی است [۱]. رنگا و همکاران (۱۹۷۹) به بررسی آزمایشگاهی مشخصات هیدرولیکی جریان در اطراف سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز در کانال اصلی پرداختند. آنها همچنین در این مطالعه ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز را در شرایط جریان زیر بحرانی مورد بررسی قرار دادند [۲]. برقی و همکاران (۱۹۹۹) به مطالعه آزمایشگاهی اثر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مانند عدد فرود بالادست، نسبت ارتفاع سرریز به عمق آب بالادست و نسبت طول سرریز جانبی به عرض کانال اصلی روی ضریب تخلیه دبی که دی مارچی ارائه داده بود پرداختند [۳]. ایزدی‌نیا و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی آزمایشگاهی مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی تاج دایره‌ای پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که در گوشه بالادست سرریز ناحیه جدایی جریان دیده می‌شود که طول این ناحیه به عواملی چون نسبت عمق آب در بالا دست به پایین دست سرریز، عرض کانال به عمق آب در پایین دست و عدد فرود بالادست بستگی دارد [۴]. امیراقلو و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی آزمایشگاهی جریان روی سرریزهای جانبی کنگره‌ای مثلثی لبه تیز در کانال مستقیم پرداختند. آنها با اندازه‌گیری پروفیل سطح آزاد جریان در مرکز کانال اصلی و مجاورت سرریز به توضیح و بررسی ساختار جریان در کانال اصلی پرداختند [۵]. موفق و احمد (۲۰۱۱) بررسی و تعیین معادله ضریب دبی را برای سرریز جانبی مستطیلی با تاج شیبدار انجام دادند. آنها در این مطالعه شیب‌هایی برای تاج سرریز مستطیلی لبه تیز در جهت جریان و خلاف جهت جریان در

شده‌اند. ابتدای سرریز جانبی به کار رفته در این آزمایش در فاصله ۴/۵ متری از ورودی کانال اصلی واقع شده، طول آن ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع تاج از کف کانال ۱۵ سانتی‌متر است (شکل ۱). سرعت متوسط بالادست v_1 در کانال اصلی ۰/۴۱۲ متر بر ثانیه و عمق بالادست برابر با ۰/۲۶۴ متر مورد استفاده قرار گرفته است. برای اندازه‌گیری مولفه‌های مختلف سرعت در مجاورت تاج سرریز جانبی از سرعت سنج داپلر صوتی استفاده شده است. در این مطالعه عددی، برای بررسی اثر عدد فرود بالادست سرریز جانبی بر مشخصات و الگوی جریان در اطراف سرریز جانبی از دبی ورودی ثابت ۰/۰۴۳۵ متر مکعب بر ثانیه و عمق‌های ورودی متفاوت ۰/۱۸، ۰/۲۱، ۰/۲۴ و ۰/۲۶/۴ سانتی‌متر استفاده شده است.

شکل (۱) هندسه و مشخصات سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز در کانال مستقیم (الف) مقطع سرریز، (ب) پلان کانال‌های اصلی و جانبی

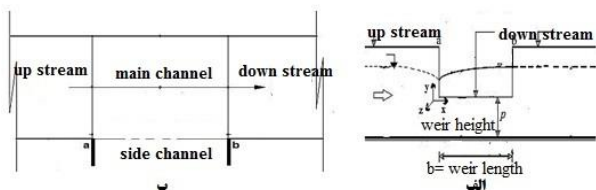


Fig.1. geometry and characters of sharp crested rectangular side weir in the direct channel a) side weir section b) main channel and side channel

۳- چگونگی ایجاد هندسه مدل و شبکه‌بندی میدان محاسباتی

در این مطالعه میدان محاسباتی شامل کانال اصلی و کانال جانبی در پایین دست سرریز به طول نیم متر است که آب پس از خروج از سرریز وارد آن می‌شود. 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. شبکه‌بندی به صورت کارترین و با المان‌های مکعب مستطیلی شکل برای شبیه سازی انجام شد. طول شبکه محاسباتی برابر طول کانال اصلی و عرض آن معادل مجموع عرض کانال اصلی و طول کانال جانبی است. نواحی خارج از کانال اصلی و کانال جانبی در مدل به عنوان بلوک‌های جامد تعریف شده و محاسبات در آنها با استفاده از قابلیت

لبه‌های ورودی سرریز جانبی از میزان جریان های چرخشی غیر موثر که باعث کاهش راندمان آبیگری می‌شود کاسته می‌شود [۱۰]. مانگارولکار (۲۰۱۰) با استفاده از ANSYS ICEM 12/0/1 و با استفاده از مدل آشفتگی RNG k-ε، به شبیه سازی عددی الگوی جریان و مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی با ارتفاع تاج صفر در کانال اصلی پرداخته است. او همچنین در این مطالعه به بررسی محل تشکیل نقطه سکون به دست آمده از شبیه سازی عددی و مقایسه با نتایج تحلیلی پرداخته است [۱۱]. غفاری و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از نرم افزار FLOW-3D مشخصات جریان روی تاج سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز را بررسی نمودند. آنها در این مطالعه مولفه‌های مختلف سرعت در ارتفاع‌های متفاوت از تاج سرریز را مقایسه نمودند [۱۲]. محمودی نیا و همکاران (۲۰۱۲) با ثابت نگهداشتن عمق ورودی و تغییر در میزان سرعت ورودی به بررسی اثر سرعت بالادست بر سطح آزاد جریان در مقطع سرریز جانبی مستطیلی با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت پرداختند [۱۳]. آیدین (۲۰۱۲) میدان جریان روی سرریزهای جانبی کنگره‌ای مثلثی لبه تیز را با استفاده از نرم افزار فلوئنت و با مدل‌های آشفتگی متفاوت شبیه سازی نمود. او به این نتیجه رسید که مدل آشفتگی RSM، در مقایسه با مدل‌های آشفتگی دیگر به شکل مناسب می‌تواند نوسانات و گردابه را روی سرریز کنگره‌ای شبیه‌سازی کند [۱۴]. بنابراین در این مطالعه با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D، جریان عبوری از سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز شبیه سازی عددی شده است. پس از درستی آزمایشی مدل عددی با مقایسه نتایج به دست آمده و نتایج آزمایشگاهی، اثر عدد فرود بالادست سرریز جانبی بر مشخصات و الگوی جریان در امتداد سرریز جانبی در کانال اصلی نیز بررسی شده است.

۲- مشخصات مدل آزمایشگاهی

در این مطالعه برای درستی آزمایشی مدل شبیه سازی شده از نتایج آزمایشگاهی باقری و حیدرپور (۲۰۱۲) استفاده شده است [۹]. این آزمایش‌ها در یک فلوم مستطیلی بدون شیب به طول ۸ متر، عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر انجام

۴- معادلات حاکم بر جریان

همانگونه که اشاره شد، برای شبیه‌سازی عددی مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی از نرم افزار FLOW-3D استفاده شده است. معادلات حاکم باین نرم افزار شامل معادلات ناویراستوکس است. این معادلات در حالت سه بعدی برای جریان سیال غیر قابل تراکم در دستگاه مختصات کارترین (x, y, z) به صورت زیر است.

$$v_f \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial (uA_x)}{\partial x} + \frac{\partial (vA_y)}{\partial y} + \frac{\partial (wA_z)}{\partial z} = \frac{R_{sor}}{\rho} \quad (1)$$

(u, v, w) مولفه‌های سرعت در جهت‌های (x, y, z) است، (A_x, A_y, A_z) کسری از مساحت سیال است که با سیال در ارتباط است.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{v_f} (uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{v_f} (uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{v_f} (uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4)$$

ρ چگالی سیال و R_{sor} چگالی ترم چشمه می‌باشد. همچنین v_f درصد حجم ورودی، G شتاب جرمی، f شتاب لزجت است. برای شبیه‌سازی سطح آزاد جریان از روش VOF استفاده شده است. معادله انتقال مربوط به جزء حجم سیال F که معرف حجم واحد سیال بر واحد حجم است، به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{v_f} \left(\frac{\partial (FUA_x)}{\partial x} + \frac{\partial (FVA_y)}{\partial y} + \frac{\partial (FWA_z)}{\partial z} \right) = 0.0 \quad (5)$$

برای یک سیال، F معرف کسر حجمی اشغال شده به وسیله سیال است. اگر F برابر یک باشد حجم کنترل پر از آب است و هنگامی که F برابر صفر است، هیچ آبی در حجم کنترل وجود ندارد [۱۵].

۵- شرایط مرزی اعمال شده

در این مطالعه در مرز ورودی کانال اصلی از شرط مرزی سرعت مشخص در دیواره کانال روبروی سرریز و کف کانال از شرط مرزی دیوار، در انتهای کانال پایین دست سرریز جانبی از شرط مرزی جریان خروجی، در مرز خروجی کانال

"Domain Removing" غیر فعال می‌شود. شکل ۲ شمای کلی میدان محاسباتی و چگونگی ایجاد هندسه مدل عددی را نشان می‌دهد.

شکل (۲) تصویر سه بعدی از کانال اصلی، سرریز جانبی و کانال جانبی در

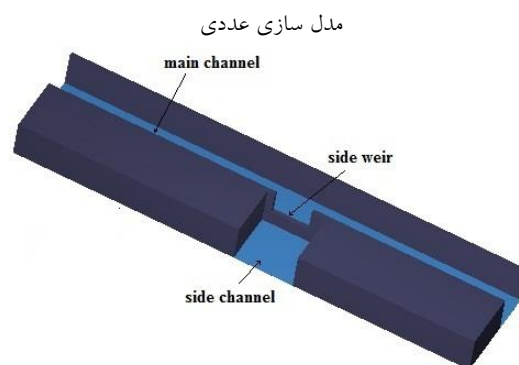


Fig. 2. Three-dimensional view of the main channel and the side weir in numerical model

بعد از آنالیز حساسیت در خصوص اندازه‌ی شبکه، تعداد سلول‌ها طوری تعیین شد که نتایج مدل عددی دیگر نسبت به ریز شدن شبکه حساسیتی نشان ندهد. تعداد سلول‌ها در شبکه غیر یکنواخت تهیه شده در جدول ۱ ارائه شده‌اند. شکل ۳ ساختار اصلی شبکه‌بندی میدان محاسباتی فعال در اطراف سرریز جانبی را نشان می‌دهد، همانگونه که در این شکل مشاهده می‌شود، به علت تغییرات شدید مشخصات جریان در این ناحیه از شبکه‌بندی ریزتری استفاده شده است

جدول (۱) محاسبات میدان مدل عددی

Grid Area	x direction	y direction	z direction
Main channel	512	58	32
Side channel	80	58	26

Table 1. Field computing numerical model

شکل (۳) چگونگی شبکه‌بندی پلان کانال اصلی و کانال جانبی در اطراف

سرریز جانبی

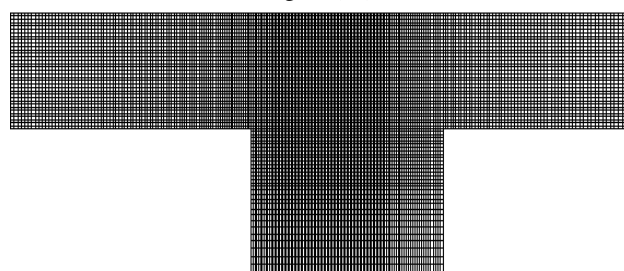


Fig. 3. Computational domain mesh in the main channel and side channel

در مقایسه با مقدار متوسط خطای نسبی در ارتفاع نزدیک تاج سرریز و نزدیک سطح آزاد جریان کمتر است. مقدار متوسط خطای نسبی برای سرعت قائم در امتداد سرریز جانبی در ارتفاع ۰/۳، ۳/۳ و ۷/۳ سانتی متر به ترتیب ۱۵/۵۲٪، ۲۸/۱۸٪ و ۲۸/۱۸٪ می باشد. مقدار متوسط خطای نسبی سرعت قائم با افزایش ارتفاع از تاج سرریز و نزدیک شدن به سطح آزاد جریان افزایش می یابد. به نظر می رسد یکی از دلایل این مسأله پیچیده تر شدن الگوی جریان در این ناحیه است. همچنین در نزدیکی سطح آب امکان ایجاد خطای آزمایشگاهی در اندازه گیری مقدار سرعت افزایش می یابد. بطور کلی مقایسه و رفتار توزیع مولفه های مختلف سرعت روی سرریز جانبی شبیه سازی شده و داده های آزمایشگاهی حاکی از دقت قابل قبول مدل سازی عددی است.

اصلی از شرط مرزی فشار مشخص و همچنین در سطح آزاد جریان شرط مرزی تقارن استفاده شده است.

۶- تحلیل و نتایج مدل عددی

شکل های ۴ تا ۶ به ترتیب مقایسه ی توزیع سرعت طولی، جانبی و قائم در مجاورت تاج سرریز جانبی در ارتفاع های مختلف از تاج سرریز بین نتایج عددی و آزمایشگاهی را نشان می دهد. مقدار متوسط خطای نسبی برای سرعت طولی در امتداد سرریز جانبی در ارتفاع ۰/۳، ۳/۳ و ۷/۳ سانتی متر از تاج سرریز به ترتیب ۹/۹۲٪، ۸/۲۶٪ و ۱۰/۸۳٪ است. مقدار متوسط خطای نسبی برای سرعت جانبی در امتداد سرریز جانبی در ارتفاع ۰/۳، ۳/۳ و ۷/۳ سانتی متر از تاج سرریز به ترتیب ۱۰/۳۳٪، ۶/۸۷٪ و ۱۱/۷۴٪ است. مقدار متوسط خطای نسبی سرعت طولی و جانبی در ارتفاع ۳/۳ سانتی متر

شکل (۴) توزیع سرعت طولی در مجاورت تاج سرریز جانبی در ارتفاع الف) ۰/۳ سانتی متر، ب) ۳/۳ سانتی متر و ج) ۷/۳ سانتی متر از تاج سرریز

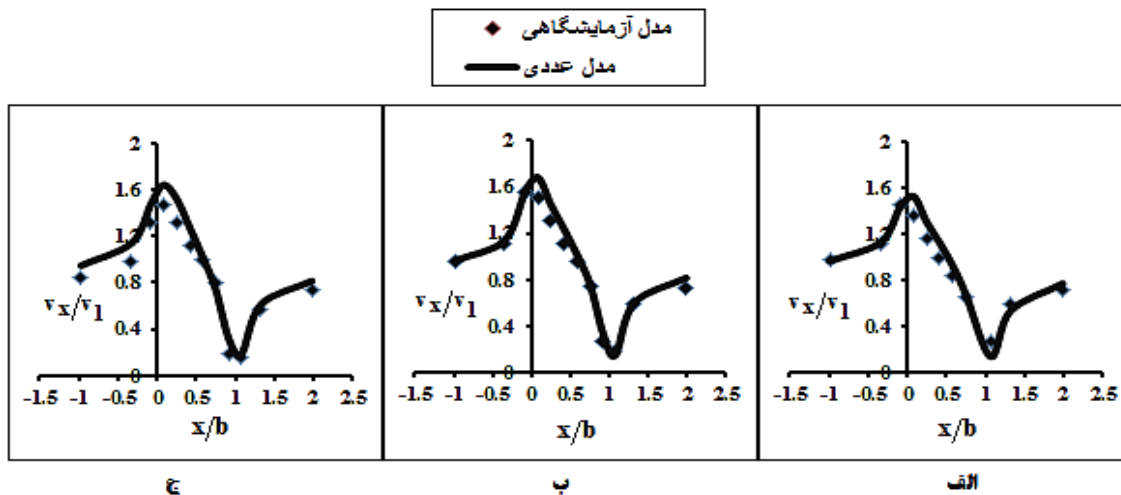


Fig. 4. Longitudinal velocity distribution close to of side weir section at different levels from crest side weir a) 0.3cm b) 3.3 cm c) 7.3 cm

شکل (۵) توزیع سرعت جانبی در مجاورت تاج سرریز جانبی در ارتفاع الف) ۰/۳ سانتی متر، ب) ۳/۳ سانتی متر و ج) ۷/۳ سانتی متر از تاج سرریز

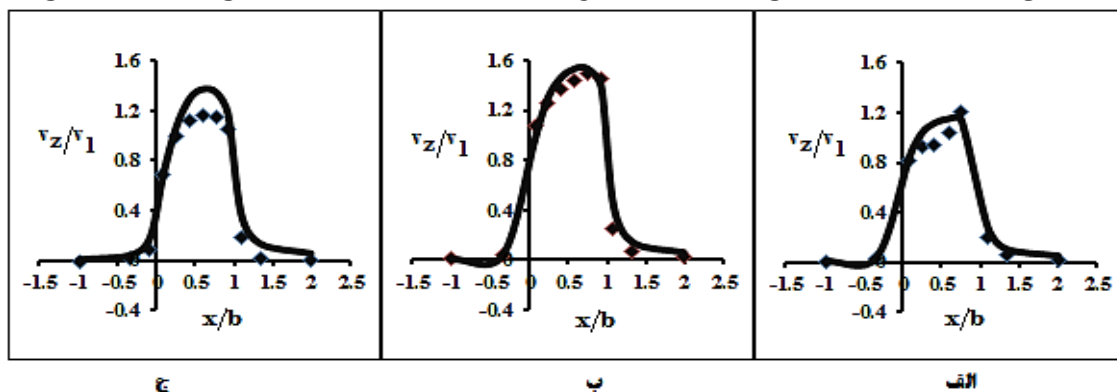


Fig. 5. lateral velocity distribution close to of side weir section at different levels from crest side weir a) 0.3cm b) 3.3 cm c) 7.3 cm

شکل (۶) توزیع سرعت قائم در مجاورت تاج سرریز جانبی ارتفاع الف) ۰/۳ سانتی متر، ب) ۳/۳ سانتی متر و ج) ۷/۳ سانتی متر از تاج سرریز

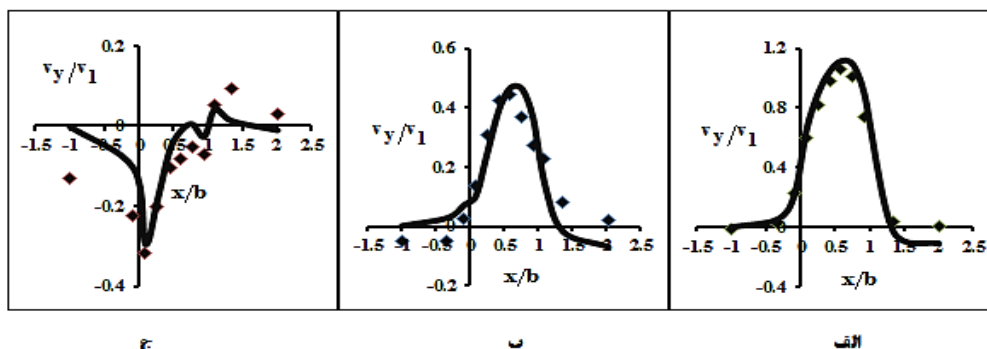


Fig 6. Vertical velocity distribution close to of side weir section at different levels from crest side weir a) 0.3cm b) 3.3 cm c) 7.3 cm

سرریز جانبی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در شکل‌های گفته شده فاصله طولی امتداد سرریز جانبی (x) و مولفه سرعت (v) به ترتیب نسبت به طول سرریز (b) و سرعت متوسط طولی (v₁) در بالادست سرریز جانبی بی‌بعد شده‌اند. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، برای مدل‌های شبیه سازی شده با اعداد فرود متفاوت، ماکزیمم سرعت طولی در ابتدای سرریز (x/b=0) و مینیمم سرعت طولی در انتهای سرریز (x/b=1) رخ داده و بعد از انتهای سرریز سرعت طولی دوباره به مقدار ثابتی می‌رسد. همچنین با توجه به شکل ۸، با کاهش عدد فرود بالادست، به دلیل افزایش دبی عبوری از روی سرریز جانبی، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب افزایش و کاهش یافته و در نتیجه میزان کاهش سرعت طولی در طول سرریز جانبی بیشتر می‌باشد. همچنین در حالتی که عدد فرود بالادست ۰/۲۲ می‌باشد، سرعت طولی در انتهای مجاورت سرریز جانبی، به دلیل جریان برگشتی به طرف سرریز، منفی شده است.

شکل (۸) توزیع سرعت طولی در مجاورت سرریز جانبی در ارتفاع ۲/۶

سانتی متر از تاج سرریز برای اعداد فرود متفاوت

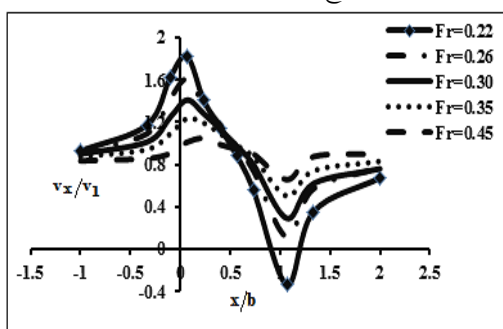


Fig. 8. Longitudinal velocity distribution close to the side weir section at height 2.6cm from crest side weir for different upstream Froude numbers

۶-۱ بررسی اثر عدد فرود بالادست بر الگو و مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی

شکل ۷ نمودار تغییرات نسبت آبگذری (دبی عبوری از سرریز جانبی نسبت به دبی ورودی کانال اصلی) در برابر اعداد فرود متفاوت را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش عدد فرود، به علت افزایش سرعت متوسط طولی در جهت کانال اصلی، جریان کمتری در کانال اصلی به طرف سرریز جانبی منحرف می‌شوند، که در نتیجه نسبت آبگذری سرریز جانبی کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده معلوم می‌شود که پارامتر عدد فرود بالادست، پارامتر مهمی در جریان عبوری از روی سرریز جانبی است.

شکل (۷) نمودار تغییرات نسبت آبگذری در سرریز جانبی در برابر عدد

فرودهای بالادست سرریز جانبی

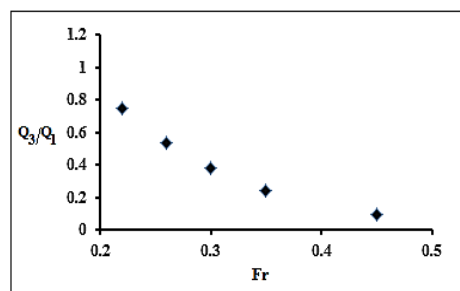


Fig. 7. Variation of discharge ratio versus upstream Froude number on the basis of numerical results

به منظور ارزیابی آثار عدد فرود جریان در بالادست سرریز جانبی روی مشخصات هیدرولیکی و میدان سرعت جریان در داخل کانال اصلی در مجاورت تاج سرریز جانبی، در شکل- ۸ تا ۱۰ توزیع سرعت طولی، جانبی و قائم در مجاورت تاج سرریز جانبی برای اعداد فرود متفاوت در بالادست

همانگونه که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، برای اعداد فرود متفاوت، مقدار سرعت قائم در بالادست سرریز جانبی حداقل است. هنگامی که جریان به ابتدای سرریز می‌رسد سرعت قائم افزایش چشمگیری دارد، ولی با پیشروی جریان به سمت انتهای پائین دست سرریز ($x/b=1$) سرعت قائم کاهش می‌یابد. با توجه به شکل ۱۰ با کاهش عدد فرود، به دلیل افزایش دبی جانبی، بیشترین سرعت قائم در طول سرریز جانبی افزایش می‌یابد. همچنین در حالت عدد فرود 0.45 که عمق جریان کمتر است، سرعت قائم به دلیل جریان پیچیده‌تر و تحت تأثیر سطح آزاد جریان، رفتار متفاوتی را در امتداد سرریز جانبی نشان می‌دهد. همانگونه که در این حالت مشاهده می‌شود، در ابتدای سرریز جانبی به دلیل افت سطح آب و حرکت جریان به طرف پایین، سرعت قائم در ابتدای سرریز جانبی منفی است و در طول سرریز به دلیل افزایش عمق سطح آب، سرعت قائم مثبت است و همچنین سرعت قائم ماکزیمم در نزدیکی انتهای سرریز جانبی رخ می‌دهد.

شکل ۱۱ توزیع سرعت مولفه‌های طولی، جانبی و قائم در برابر تغییرات ارتفاع جریان روی وسط تاج سرریز برای عدد فرودهای متفاوت را نشان می‌دهد. در این شکل مولفه‌های مختلف سرعت (v) و فاصله در جهت قائم در روی تاج سرریز (y) به ترتیب نسبت به سرعت ماکزیمم (v_{max}) و ارتفاع جریان ماکزیمم روی تاج سرریز (y_{max}) بی بعد شده است. با توجه به شکل ۱۱ الف، با کاهش عدد فرود بالادست، توزیع سرعت طولی در راستای ارتفاع بخصوص در نزدیکی تاج سرریز غیر یکنواخت‌تر می‌شود. اما در ارتفاع‌های بالاتر نسبت به تاج سرریز ($y/y_{max} > 0.6$)، توزیع سرعت نسبتاً یکنواخت است. همانگونه که در شکل ۱۱ ب، برای اعداد فرود متفاوت مشخص است، سرعت جانبی تا ارتفاع معینی از روی تاج سرریز افزایش می‌یابد و سپس با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به سطح آزاد جریان مقدار آن کاهش می‌یابد. با افزایش عدد فرود، بیشترین سرعت جانبی در ارتفاع بالاتری نسبت به تاج سرریز جانبی رخ می‌دهد. با کاهش عدد فرود، مقدار سرعت جانبی در نزدیکی‌های تاج سرریز افزایش یافته و در ارتفاع‌های بالاتر کاهش می‌یابد.

شکل (۹) توزیع سرعت جانبی در مجاورت سرریز جانبی در ارتفاع ۲/۶

سانتی‌متر از تاج سرریز برای اعداد فرود متفاوت

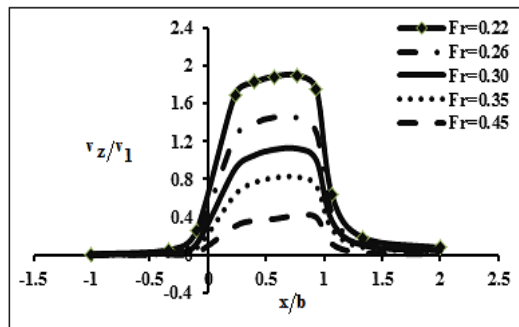


Fig. 9. Lateral velocity distribution close to the weir section at height 2.6 cm from crest side weir for different upstream Froude numbers

همانگونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، برای اعداد فرود متفاوت، مقدار سرعت جانبی در بالادست و پایین دست سرریز جانبی به دلیل خارج نشدن جریان از کانال اصلی، حداقل می‌باشد. هنگامی که جریان به ابتدای سرریز می‌رسد ($x/b=0$)، بخاطر کاهش سرعت طولی در طول سرریز، سرعت جانبی در طول سرریز افزایش می‌یابد. با توجه به شکل ۹، با کاهش عدد فرود بالادست سرریز جانبی به دلیل منحرف شدن بیشتر جریان کانال اصلی به طرف سرریز، بیشترین سرعت جانبی در طول سرریز افزایش می‌یابد، به گونه‌ای که بیشینه سرعت جانبی در طول سرریز جانبی برای عدد فرود 0.22 بوقوع پیوسته است. با توجه به شکل ۹ رفتار تغییرات سرعت جانبی در امتداد سرریز جانبی برای اعداد فرود متفاوت بالادست سرریز جانبی، تقریباً مشابه هم است. در تمام حالت‌های ارائه شده، سرعت جانبی ماکزیمم در نزدیکی انتهای سرریز جانبی رخ می‌دهد.

شکل (۱۰) توزیع سرعت قائم در مجاورت سرریز جانبی در ارتفاع ۲/۶

سانتی‌متر از تاج سرریز برای اعداد فرود متفاوت

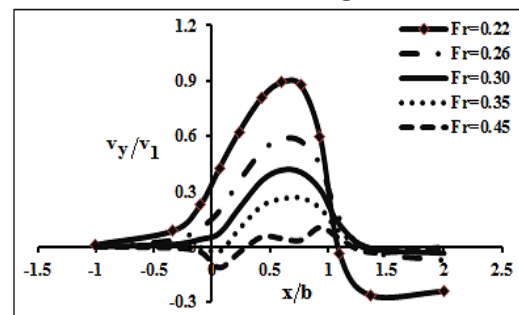


Fig. 10. Vertical velocity distribution close to the weir section at height 2.6 cm from crest side weir for different upstream Froude numbers

شکل (۱۱) توزیع مولفه‌های مختلف سرعت در مقطع واقع بر وسط تاج سرریز (الف) سرعت طولی، (ب) سرعت جانبی و (ج) سرعت قائم

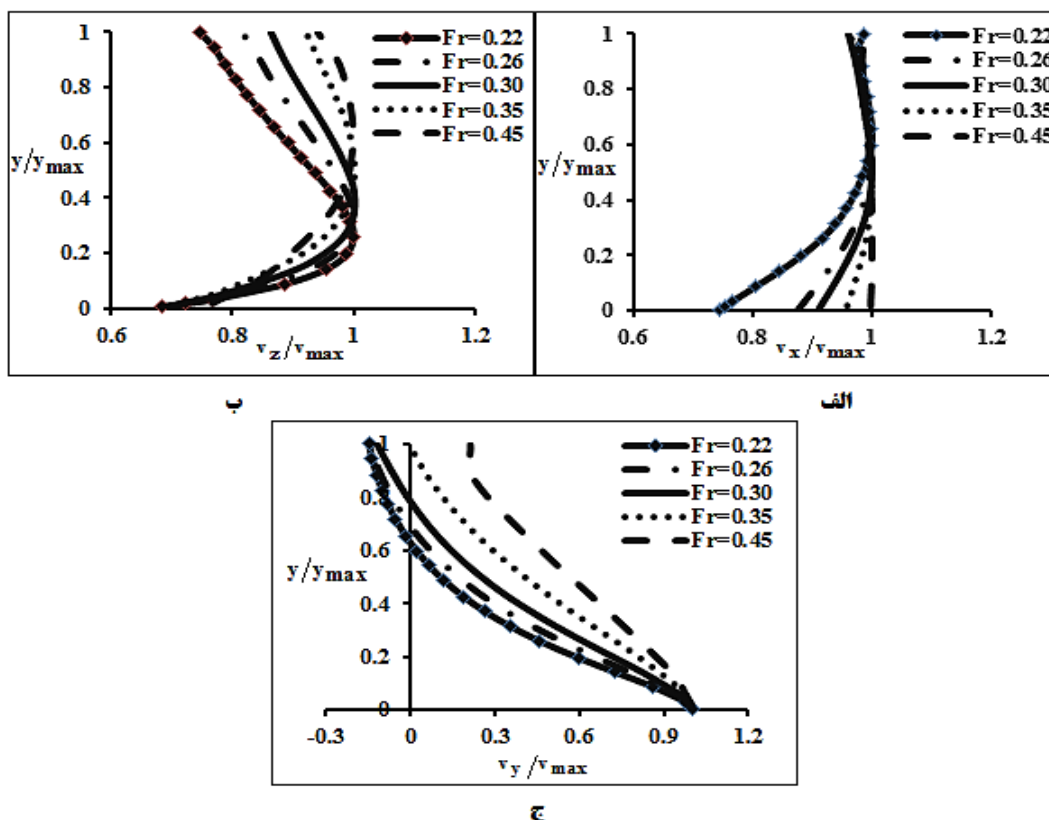


Fig. 11 Distribution of various components of velocity in the middle of the crest weir a) longitudinal velocity b) lateral velocity c) vertical velocity

شکل (۱۲) چگونگی تشکیل زاویه جت خروجی جریان عبوری از روی سرریز جانبی

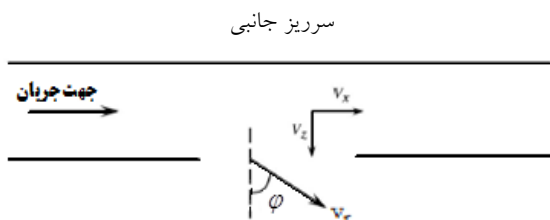


Fig. 12 how formed the angle of the jet flow over the side weir

در شکل ۱۳ نتایج شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی برای زاویه جت خروجی جریان عبوری از سرریز جانبی مقایسه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود مدل عددی با دقت مناسبی توانسته است زاویه جت خروجی جریان عبوری از روی سرریز جانبی را پیش‌بینی نماید. مقدار متوسط خطای نسبی برای زاویه‌ی جت خروجی در امتداد سرریز جانبی در ارتفاع ۰/۳، ۳/۳ و ۷/۳ سانتی‌متر از تاج سرریز به ترتیب ۶/۴٪، ۶/۵۶٪ و ۱۰/۴٪ است.

همان‌گونه که در شکل ۱۱ ج، قابل مشاهده است، بیشترین سرعت قائم برای عدد فرودهای متفاوت، در نزدیکی تاج سرریز رخ می‌دهد و با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به سطح آزاد جریان مقدار آن به تدریج کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش عدد فرود بالادست، به علت افزایش هد جریان روی تاج سرریز و کاهش سرعت متوسط جریان کانال اصلی، سرعت قائم در نزدیکی سطح آزاد جریان به دلیل حرکت جریان به سمت پایین منفی است.

راستای زاویه‌ی جت خروجی جریان عبوری از روی سرریز جانبی مطابق شکل ۱۲ است. زاویه‌ی گفته شده به وسیله‌ی بردارهای سرعت طولی و جانبی روی سرریز جانبی با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود [۹]:

$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{v_x}{v_z} \right) \quad (6)$$

شکل (۱۳) تغییرات زاویه‌ی جت خروجی جریان عبوری از روی سرریز جانبی الف) ارتفاع ۰/۳ سانتی متر و ب) ارتفاع ۳/۳ سانتی متر ج) ارتفاع ۷/۳ سانتی متر از تاج سرریز

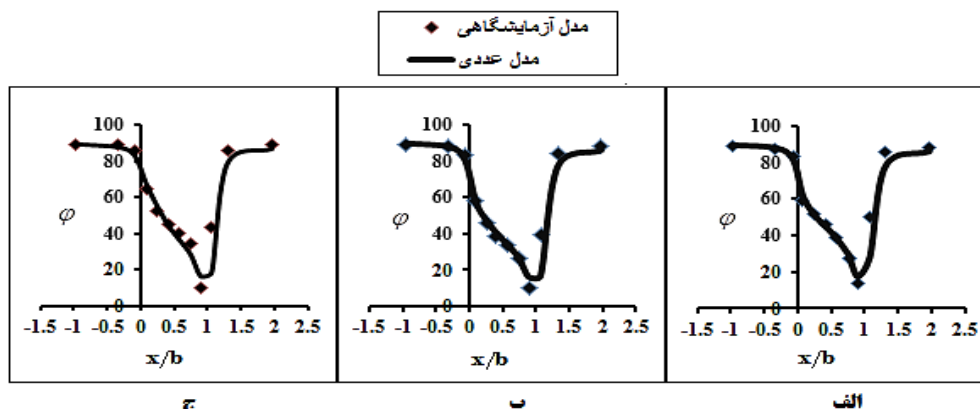


Fig. 13. Variation angle output jet flow over the side weir at different levels from crest side weir a) 0.3cm b) 3.3 cm c) 7.3 cm

است، در انتهای سرریز جانبی به علت تشکیل جریان‌های برگشتی به طرف سرریز، زاویه جت خروجی جریان منفی است.

شکل (۱۵) تغییرات زاویه‌ی جت خروجی جریان در روی سرریز جانبی در ارتفاع ۲/۶ سانتی متر از تاج سرریز برای اعداد فرود متفاوت

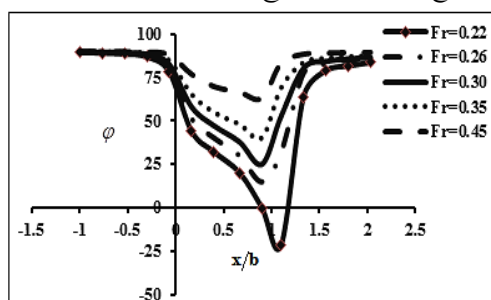


Fig. 15 Variation angle output jet flow over the side weir at height 2.6 cm from crest side weir for different upstream Froude numbers

شکل ۱۶ مقایسه الگوی خطوط جریان در اطراف سرریز جانبی در نزدیک بستر کانال اصلی را برای اعداد فرود متفاوت نشان می‌دهد. یکی از مسائل مهم در سرریزهای جانبی امکان تشکیل ناحیه‌ی جدانشدگی جریان در اطراف سرریز جانبی در کانال اصلی است. در این مطالعه به تأثیر عدد فرودهای متفاوت بر امکان ایجاد یا عدم ایجاد جدا شدگی جریان در نزدیک بستر کانال اصلی و نزدیک تاج سرریز در کانال اصلی پرداخته شده است. همانگونه که در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود، به دلیل کاهش دبی جانبی از روی سرریز، وسعت ناحیه جدانشدگی

شکل ۱۴ چگونگی تغییرات زاویه جت خروجی جریان در راستای ارتفاع جریان در وسط تاج سرریز را برای عدد فرود- های متفاوت نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۴ با کاهش عدد فرود بالادست، زاویه جت خروجی جریان در راستای ارتفاع جریان کاهش یافته و همچنین غیر یکنواخت تر می- شود.

شکل (۱۴) تغییرات زاویه‌ی جت خروجی جریان در راستای ارتفاع جریان در وسط تاج سرریز برای اعداد فرود متفاوت

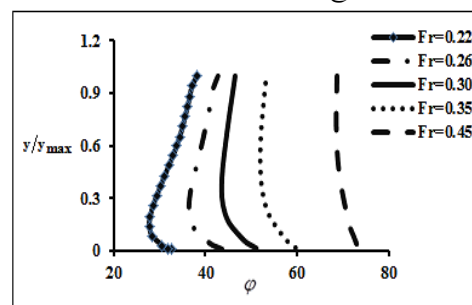


Fig. 14 Variation angle output jet flow over the side in the middle of the crest weir for different upstream Froude numbers

در شکل ۱۵ چگونگی تغییرات زاویه جت خروجی جریان عبوری از سرریز جانبی برای اعداد فرود بالادست متفاوت قابل مشاهده است. با توجه به این شکل، به شکل کلی با کاهش عدد فرود بالادست، به دلیل کاهش مومتمم در جهت کانال اصلی، زاویه جت خروجی جریان در طول تاج سرریز کاهش یافته و به راستای عمود بر سرریز متمایل می‌شود. همچنین در حالتی که عدد فرود بالادست سرریز جانبی ۰/۲۲

شکل (۱۷) الگوی خطوط جریان شبیه سازی شده در اطراف سرریز جانبی در ارتفاع ۲/۶ سانتی متر از تاج سرریز جانبی برای اعداد فرود بالادست متفاوت

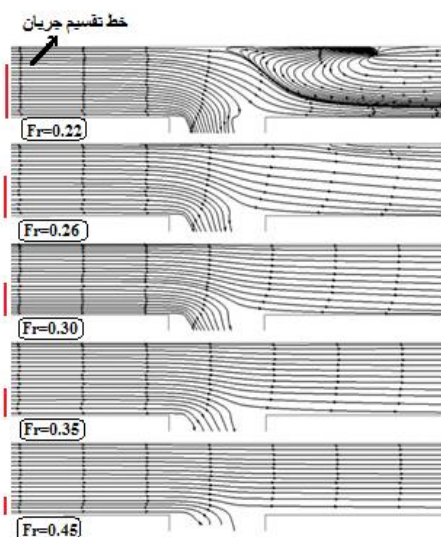


Fig .17 Pattern flow line around side weir at height 2.6 cm from crest side weir for different upstream Froude numbers

شکل ۱۸ تغییرات پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز جانبی برای اعداد فرود متفاوت را نشان می-دهد. در این شکل عمق جریان (y) و فاصله طولی در امتداد سرریز جانبی (x) به ترتیب نسبت به عمق بالادست (y_{up}) در کانال اصلی و طول سرریز جانبی (b) بی بعد شده‌اند. همان‌گونه که در شکل ۱۸ مشخص است در تمام حالات، سطح آزاد جریان در ابتدای سرریز جانبی افت داشته و پس از آن عمق آب در طول سرریز جانبی به دلیل زیر بحرانی بودن جریان بالادست سرریز جانبی، افزایش می‌یابد. در مطالعات قبلی گزارش دادند که افت در پروفیل سطح آزاد جریان به دلیل اثر ورودی بالادست انتهای سرریز جانبی است [۵]، [۷]. نکته‌ی قابل گفتن در این بخش میزان حداکثر پایین افتادگی سطح آب در طول سرریز در مقایسه با عمق آب بالادست است. با توجه به شکل ۱۸ می‌توان بیان نمود، برای عدد فرودهای متفاوت به جز عدد فرود ۰/۴۵، مقدار پایین افتادگی سطح آب در طول سرریز تقریباً یکسان است. اما برای عدد فرود ۰/۴۵ به دلیل دبی عبوری کمتر و هد پایین آب روی سرریز جانبی، مقدار پایین افتادگی سطح آب در طول سرریز کمتر است. همچنین با توجه به شکل ۱۸ با افزایش عدد فرود بالادست، عمق سطح آب در انتهای سرریز جانبی دچار

واقع در اطراف سرریز جانبی، به خصوص در مقطع عرضی کانال اصلی کاهش می‌یابد و حتی درحالتی که عدد فرود ۰/۴۵ است، ناحیه جداسازی در بستر کانال اصلی رخ نمی-دهد. همچنین با افزایش عدد فرود، ناحیه جداسازی جریان به سمت پایین دست منتقل می‌شود. امیراوقلو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی آزمایشگاهی سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز جداسازی جریان در کانال اصلی را ناشی از کاهش مومنتم در جهت کانال اصلی به دلیل سرریز شدن جریان جانبی به کانال جانبی دانستند. آنها همچنین بیان نمودند که منطقه اشغال شده به وسیله‌ی ناحیه جداسازی معمولاً در نزدیک بستر، بیشتر است [۷].

شکل (۱۶) الگوی خطوط جریان شبیه سازی شده در اطراف سرریز جانبی در نزدیک بستر کانال اصلی برای اعداد فرود بالادست متفاوت

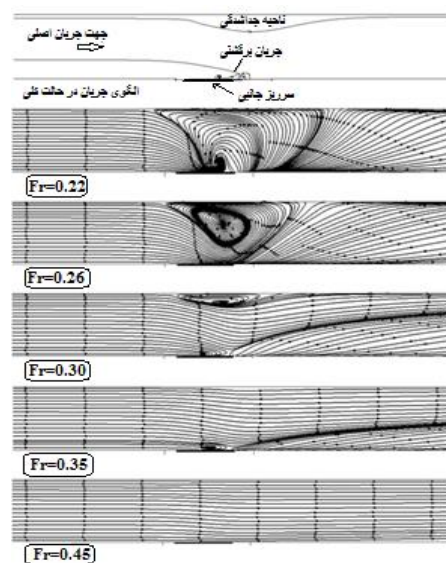


Fig .16 Pattern flow line at around side weir near the main channel bed for different upstream Froude numbers

شکل ۱۷ مقایسه الگوی خطوط جریان در اطراف سرریز جانبی در نزدیک تاج سرریز را برای اعداد فرود متفاوت نشان می‌دهد. با توجه به الگوی خطوط جریان در شکل‌های ۱۶ و ۱۷ با افزایش ارتفاع از بستر کانال اصلی، در حالت اعداد فرود بالا، جداسازی حذف و در اعداد فرود پایین، جداسازی کاهش یافته و به سمت پایین دست سرریز جانبی منتقل می‌شود. همچنین همان‌گونه که در شکل ۱۷ مشخص است، با افزایش عدد فرود بالادست، فاصله‌ی خط تقسیم کننده‌ی جریان از دیواره‌ی سمت راست کاهش می‌یابد.

شکل ۱۹ به ترتیب تغییرات پروفیل عرضی سطح آزاد جریان کانال اصلی در مقطع ابتدا، وسط و انتهای سرریز جانبی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود برای اعداد فرود متفاوت، پروفیل عرضی سطح آب در مقطع ابتدا و وسط سرریز جانبی با نزدیک شدن به سرریز کاهش و در مقطع عرضی انتهای سرریز جانبی افزایش می‌یابد. رنگاچو و همکاران (۱۹۷۹) با بررسی آزمایشگاهی سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز، نتایج مشابه در این مطالعه درباره‌ی رفتار تغییرات پروفیل عرضی سطح آزاد جریان در ابتدا، وسط و انتهای سرریز جانبی را ارائه نموده‌اند [۲].

با توجه به شکل ۱۹، در ابتدای سرریز جانبی رفتار تغییرات پروفیل عرضی سطح آب برای عدد فرودهای متفاوت بالادست تقریباً مشابه است. در مقطع وسط سرریز جانبی با کاهش عدد فرود، پروفیل عرضی سطح آب در مجاورت سرریز جانبی کاهش بیشتری نشان می‌دهد. در مقطع انتهای سرریز جانبی با افزایش عدد فرود، پروفیل عرضی سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز جانبی افزایش بیشتری نشان می‌دهد.

تغییرات شدیدی می‌شود. امیراقلو و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی آزمایشگاهی سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز، فقط به این موضوع اشاره کرده‌اند که در حالتی که $Fr > 0.85$ است، به دلیل کاهش انرژی پتانسیل و افزایش انرژی جنبشی در جهت جریان پایین دست کانال اصلی، در انتهای سرریز جانبی پرش سطحی رخ می‌دهد [۷].

شکل (۱۸) پروفیل طولی سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز جانبی

برای اعداد فرود متفاوت

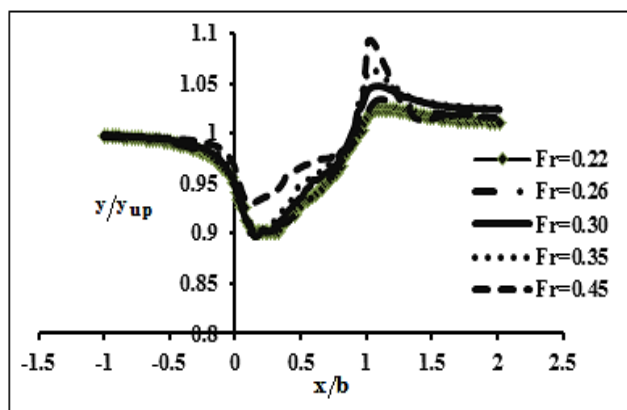


Fig. 18. The free surface profiles in the stream wise direction adjacent the side weir for different upstream Froude numbers

شکل (۱۹) پروفیل عرضی سطح آزاد جریان در کانال اصلی برای عدد فرودهای مختلف در مقاطع الف) ابتدا، ب) وسط و ج) انتهای سرریز جانبی

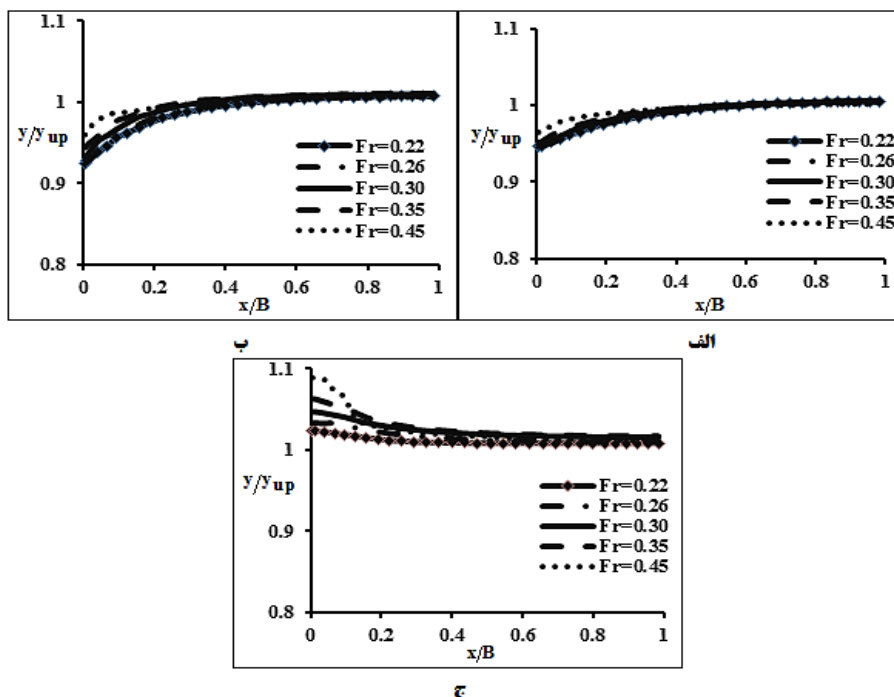


Fig. 19. The variation of the free surface in the spanwise direction at a) beginning, b) centre, and c) end of the side weir length

۷- نتیجه گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از نرم‌افزار FLOW-3D و به کارگیری مدل آشفتگی $k-\epsilon$ RNG، میدان جریان در اطراف سرریز جانبی مستطیلی لبه تیز شبیه سازی شده است. مقایسه‌ی توزیع مولفه‌های مختلف سرعت و زاویه‌ی جت خروجی در مجاورت تاج سرریز جانبی در ارتفاع‌های مختلف از تاج سرریز بین نتایج عددی و آزمایشگاهی هماهنگی مناسبی را نشان می‌دهد. در مطالعه عددی حاضر نتایج به دست آمده از بررسی عدد فرود بالادست سرریز جانبی بر الگو و مشخصات جریان در اطراف سرریز جانبی نشان می‌دهد که در مدل‌های شبیه‌سازی شده با اعداد فرود متفاوت، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب در ابتدا و انتهای سرریز جانبی رخ می‌دهد. با کاهش عدد فرود بالادست، بیشترین و کمترین سرعت طولی به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. با کاهش عدد فرود، ماکزیمم سرعت جانبی در طول سرریز جانبی افزایش می‌یابد، که نشان می‌دهد با کاهش عدد فرود، دبی عبوری از سرریز جانبی افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش عدد فرود، به دلیل افزایش دبی جانبی بیشترین سرعت قائم در طول سرریز جانبی افزایش می‌یابد. توزیع مولفه‌های مختلف سرعت در برابر تغییرات ارتفاع جریان روی وسط تاج سرریز برای عدد فرودهای متفاوت نشان می‌دهد، با کاهش عدد فرود بالادست، توزیع سرعت طولی در راستای ارتفاع به خصوص در نزدیک تاج سرریز غیر یکنواخت‌تر می‌شود. برای اعداد فرود متفاوت، سرعت جانبی تا ارتفاع معینی از روی تاج سرریز افزایش می‌یابد و سپس با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به سطح آزاد جریان مقدار آن کاهش می‌یابد. با افزایش عدد فرود، بیشترین سرعت جانبی در ارتفاع بالاتری نسبت به تاج سرریز جانبی رخ می‌دهد. بیشترین سرعت قائم برای عدد فرودهای متفاوت، در نزدیکی تاج سرریز رخ می‌دهد و با افزایش ارتفاع و نزدیک شدن به سطح آزاد جریان مقدار آن به تدریج کاهش می‌یابد. با کاهش عدد فرود، سرعت قائم در نزدیکی سطح آزاد جریان به دلیل حرکت جریان به سمت پایین منفی است. با افزایش ارتفاع از بستر کانال اصلی، در حالت اعداد فرود بالا، جدا-

شدگی حذف و در اعداد فرود پایین، جداشدگی کاهش یافته و به سمت پایین دست سرریز جانبی منتقل می‌شود. در خصوص سطح آزاد جریان در مجاورت سرریز جانبی، با افزایش عدد فرود بالادست، عمق سطح آب در انتهای سرریز جانبی دچار تغییرات شدیدی می‌شود. همچنین با افزایش عدد فرود، به دلیل افزایش مومنتم در جهت کانال اصلی، زاویه انحراف جت خروجی جریان در طول سرریز جانبی افزایش می‌یابد.

References

۸- مراجع

- [1] DeMarchi G. (1934). "Essay on the performance of lateral weirs". (in Italian). L'Energia elettrica Milan, 11 (11), 849-860
- [2] Ranga Raju, Prasad K.G. and Gupta S.K. (1979). "Side weir in rectangular channel". Journal of Hydraulic Division 105 (5), 547-554
- [3]. Borghei M, Jalili MR, Ghodsian M. (1999). "Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow". ASCE Journal of Hydraulic Engineering 125 (10), 1051-1056.
- [۴] ایزدی‌نیا، حیدرپور م، کبیری سامانی ع. (۱۳۸۷). "بررسی الگوی جریان روی سرریزهای جانبی تاج دایره‌ای". مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۲ (۴۶ ب)، ۸۱۵-۸۲۶.
- [5] Emiroglu ME, Kaya N, Agaccioglu H. (2010). "Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel". ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering 136 (1), 37-46.
- [6]. Mwafaq Y.M, Ahmed Y.M. (2011). "Discharge coefficient for an inclined side weir crest using a constant energy approach". Flow Meas. Instrum 22 (6), 495-499
- [7]. Emiroglu ME, Agaccioglu H, Kaya N. (2011). "Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels". Flow Meas Instrum., 22, 319-30.
- [8]. Kaya N, Emiroglu ME, Agaccioglu H. (2010). "Discharge coefficient of semi-elliptical side weir in subcritical flow. Flow Measurement and Instrumentation". Flow Measurement and Instrumentation 22 (1), 25-32.
- [9] Bagheri, S. and Heidarpour, M. (2012). "Characteristics of Flow over Rectangular Sharp-Crested Side Weirs". J. Irrig. Drain Eng., 138(6), 541-547.
- [۱۰] کاریزی آ و هنر ت. (۱۳۷۸). "بررسی الگوی جریان و تنش برشی سرریز جانبی لبه پهن مستطیلی". مجله علوم و

مستطیلی". هفتمین کنگره ای ملی عمران - دانشگاه سیستان و بلوچستان.

[13] Mahmodiniaa 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.

[14]. Aydin MC. (2012). "CFD simulation of free-surface flow over triangular labyrinth side weir" Advances in Engineering Software 45, 159-166.

فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۴ (۵۱)، ۱۵-۲۵.

[11]. Mangarulkar K. (2010). "Experimental and numerical study of the characteristics of side weir flows". PhD thesis, Concordia University, Montreal, Quebec, Canada.

[۱۲] غفاری س، اقبال زاده، جوان م، الیاسی س. (۱۳۹۲) " بررسی عددی مشخصات جریان بر روی تاج سرریزجانبی

Numerical study of the effect of upstream Froude number on the flow characteristics along a rectangular sharp-crested side weir

Saeed Ghaffari¹, Afshin Eghbalzadeh^{*2,3}, Mitra Javan^{2,3}

1. M.S. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Tagh-E-Bostan, Kermanshah-67149.

2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Razi University, Tagh-E-Bostan, Kermanshah-67149.

3. Water and Wastewater Research Center, Razi University, Tagh-E-Bostan, Kermanshah-67149.

Abstract:

Side weirs are flow diversion structures which have wide application in hydraulic and environmental Engineering. Diversion structures in side wall of open channel are to be used in order to divert flow from main channel. Side weirs, side orifices and side sluice gates are diversion structures which have wide application in dams, irrigation, drainage systems and combined sewer systems. Side weirs are one of the most important and applicable hydraulic structures for water controlling and directing systems that requires careful review and accurate designing due to their critical importance. In this paper, the flow over a sharp-crested rectangular side weir in open channel was simulated by FLOW-3D software. RNG $\kappa - \varepsilon$ turbulence model was used to apply the Navier-Stokes equations and the VOF method was used to model the free surface profile changes. In the present study, at first, results related to the distribution of the different components of velocity and angle of the outlet jet adjacent to the crest of the rectangular sharp crest side weir at various heights of the weir crest are validated with experimental data from Bagheri and Heidarpour (2012) research. Then the effects of upstream Froude number on flow pattern and free surface around the side weir were investigated. The results of this study indicated that with decreasing upstream Froude number the maximum and minimum longitudinal velocity along the side weir increases and decreases, respectively. By decreasing upstream Froude numbers, the longitudinal velocity in the vicinity of the side weir is negative because of the reverse flow formed in this area. The maximum lateral velocity along the side weir increased with decreasing upstream Froude number. That is why the discharge through the side weir increased with decreasing Froude number. The maximum vertical velocity along the side weir increased with decreasing the upstream Froude numbers because more flow is diverted to the side weir with decreasing the upstream Froude numbers. Distribution of the different components of velocity in the direction of flow height in the middle of the weir crest indicated that by reducing the upstream Froude number, longitudinal velocity distribution in the depth direction became more non uniform, especially near the weir crest. For different upstream Froude numbers, lateral velocity would increased up to a certain elevation from the weir crest and then decreased toward the free surface. By increasing Froude number, the maximum lateral velocity occurs at greater heights above the side weir crest. The maximum vertical velocity for different Froude numbers occurred near the weir crest. Vertical velocity gradually decreased toward the free surface. By reducing the upstream Froude number, the vertical velocity near the free surface of flow is negative due to flow motion to downward. Free surface of the flow experienced extreme changes at the end of the side weir when upstream Froude number was increasing. By increasing the Froude number, the angle of inclination of the outlet jet along the side weir increases. Also by increasing the Froude number, the separation zone around the side weir in near the main channel bed, especially in the channel cross-section decreases.

Keywords: Side weir, FLOW-3D, Froude number, Flow pattern, Velocity distribution,;